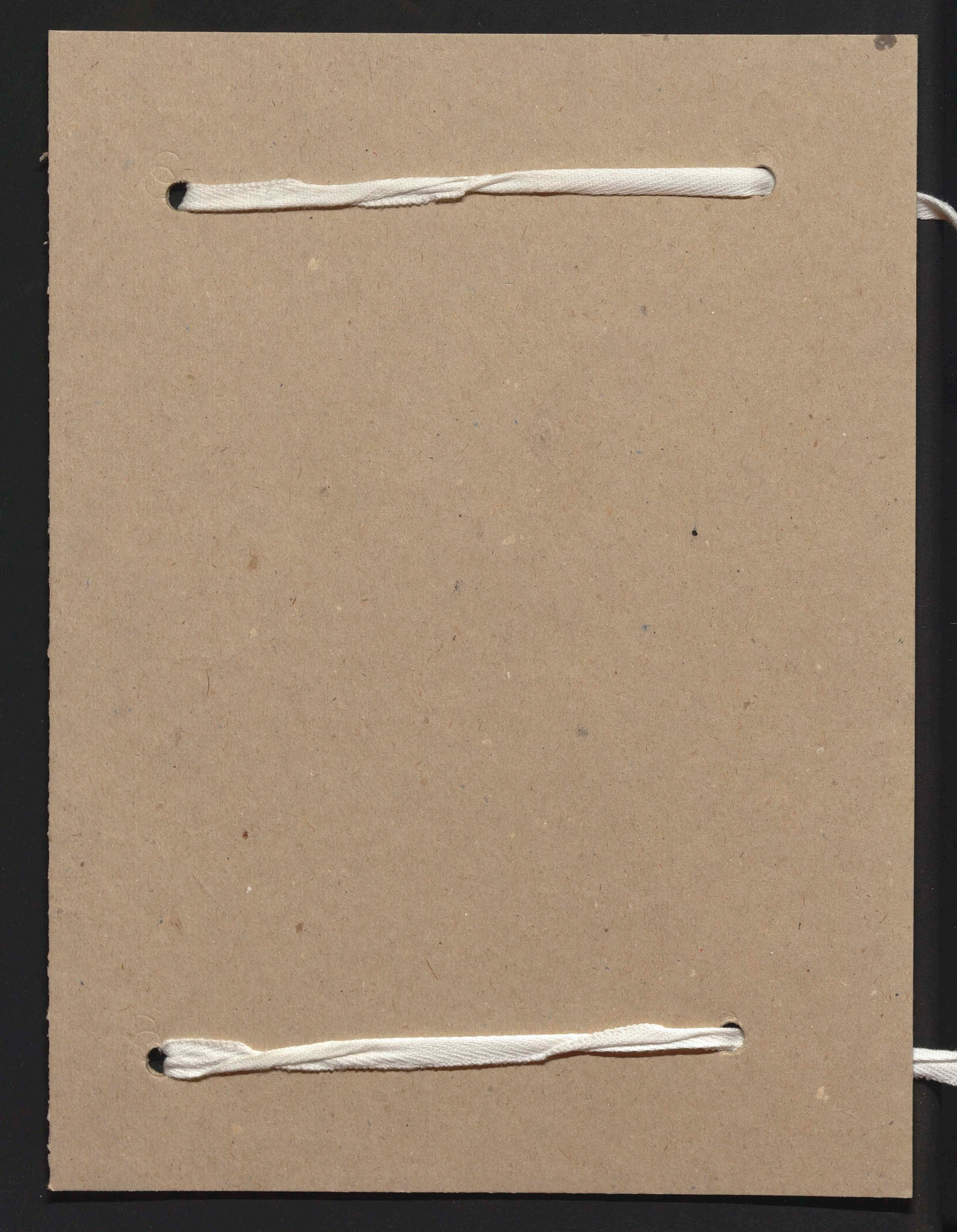

9384

Bibl. Jag.

III





M. SMOLUCHOWSKI: PISMA — OEUVRES III

PISMA
MARJANA SMOLUCHOWSKIEGO

WYDANE Z POLECENIA
POLSKIEJ AKADEMJI UMIEJĘTNOŚCI

OEUVRES
DE MARIE SMOLUCHOWSKI

PUBLIÉES SOUS LES AUSPICES DE
L'ACADÉMIE POLONAISE
DES SCIENCES ET DES LETTRES

Bibl. Jag.

TOM TRZECI – TOME TROISIÈME

CRACOVIE
ACADÉMIE POLONAISE DES
SCIENCES ET DES LETTRES

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE
CH. BÉRANGER

Prace Komisji Etnograficznej.

Nr. 1. — Zaborski B. O kształtach wsi w Polsce i ich rozmieszczeniu (z ryc. i mapą) 7·—
Nr. 2. — Kubijowicz Włodz. Życie pasterskie w Beskidach magórskich (z ryc. i map.) 6·—
Nr. 3. — Lilientalowa R. Dziecko żydowskie (z ryc. i tabl.) 6·—
Nr. 4. — Ciszewski St. Żeńska twarz 1·20
Nr. 5. — Zamki drewniane przy drzwiach (39 tabl. i mapa) 6·—
Nr. 6. — Seweryn T. Z żywym kurkiem po dyngusie 3·60
Nr. 7. — Pietkiewicz Cz. Polesie Rzeczyckie. Materjały etnograficzne. Część I. Kultura materjalna (z 291 ryc.) 12·—

Podręczniki:

Serja I.

Benni T., Łoś J., Nitsch K., Rozwadowski J., Ułaszyn H. Gramatyka języka polskiego 12·—
Łoś J. Pisownia polska. Przepisy. Słowniczek. Wydanie VIII poprawione i rozszerzone 2·—
Morawski K. Zarys literatury rzymskiej 6·—
Witkowski St. Historjografja grecka i nauki pokrewne. Tom I. 9·—
— Historjografja grecka i nauki pokrewne. Tom II. 9·—
— Historjografja grecka i nauki pokrewne. Tom III. 20·—
Zieliński T. Tragodumenon libri tres 10·—

Serja II.

Adametz L. Hodowla ogólna zwierząt domowych, z niemieckiego rękopisu przełożył Zdz. Zabielski 12·—
Anatomja człowieka, tom IV, część II, opracowali prof. E. Loth, prof. Fr. Krzyształowicz, prof. K. Majewski 12·—
Anatomja człowieka, tom IV, część III (Ucho) w opracowaniu prof. J. Markowskiego (*w druku*).
Bochenek A. Anatomja człowieka, tom I, oprawny 14·—
broszur. 12·—
Bochenek A. i Ciechanowski St. Anatomja człowieka, tom II 20·—
Bochenek A. i Ciechanowski St. Anatomja człowieka, tom III (*w druku*).
Hoyer H. Anatomja porównawcza zwierząt domowych (z licznemi rycinami) 16·—
Klecki K. Patologja ogólna. Tom I. 30·—
Kozak J. i Orzelski T. Ćwiczenia z zakresu chemji ogólnej (z rycinami) 7·—
Marchlewski L. Podręcznik do badań fizjologiczno-chemicznych 12·—
Maziarski St. Podręcznik do ćwiczeń histologicznych 9·—
Oszacki A. Choroby przemiany materji i energji u człowieka. Podstawy nauki o metabolizmie. Fizjopatologja tycia i chudnięcia. Kliniczne postaci otyłości i chudości 15·—
Pisarski Tadeusz. Kamienie moczowe. Ich budowa i mechanizm powstawania 6·—
Rosenblatt A. Geometrja analityczna na płaszczyźnie (z rycinami) 12·—

2

F. TAKABEYA. — Pièces encastrées aux deux extrémités.

Étude des pièces encastrées aux deux extrémités par considération spéciale de la force longitudinale. Notions générales. Pièce portant une charge continue, uniforme et complète, uniforme et partielle. Pièce portant une charge locale et fixe et au milieu de sa portée, par F. Takabeya, professeur aux Universités Impériales de Hokkaïdo, Sapporo (Japon). Un volume in-8° raisin (16 × 25) de 94 pages, aves 48 figures dans le texte. Broché (225 gr.) . . . . 28 fr.

J. -A. -L. WADDELL. — Construction des ponts.

L'économie générale dans la construction des ponts. Principes économiques généraux. De l'économie générale dans la production des projets de ponts. Variations des prix de main-d'oeuvre et de matériaux. Économie générale comparative entre ponts et tunnels, comparée dans les traversées à grande ou à faible hauteur, comparative entre les structures en acier et celles en béton armé, entre les différents types de structures en acier ordinaire, des ponts rivés et des ponts à articulations, entre poutres continues et poutres non continues, entre les ponts à simples poutres et les ponts équilibrés, entre les ponts en cantilever et les ponts suspendus, dans les accès aux ponts. De la détermination des projets. De l'économie générale dans les charges et les efforts unitaires, en temps et en argent dans les estimatifs de ponts. Des longueurs économiques de travée. Économie générale des structures, des poutres, des tabliers et planchers, dans les projets et leurs détails, dans les projets au point de vue des ateliers et du montage, dans les ponts en béton armé, dans les ponts métalliques en arc, de l'acier dans les charpentes, viaducs et chemins de fer surévelés, dans les ponts cantilevers, dans les ponts suspendus, des travées mobiles de l'économie générale, dans les machines et la puissance motrice, du transbordeur, dans l'établissement des marchés, dans le travail des bureaux d'études, dans la surveillance, dans les ateliers, dans les chantiers, dans la fabrication du béton dans l'érection, l'entretien et les réparations des ponts, dans la protection du métal, de l'imperméabilisation, dans les ponts militaires, par J. A. L. Waddell, ingénieur conseil américain, membre de la Société Américaine des Ingénieurs civils et de la Société des Ingénieurs civils de France, correspondant de l'Institut. Traduit et adapté de l'anglais par L. G. André, ingénieur des Arts et Manufactures, E. C. P., professeur à l'École des Travaux Publics. Un volume in 8° raisin (16 × 25) de 564, pages, avec 74 figures dans le texte et 3 planches hors-texte. Relié (1.350 gr.) . . . . 91 fr.

E. LEROUX. — Cours d'Aéronautique.

L'atmosphère et la résistance à l'air. — Étude statique. Le vent. Les théories. L'expr mation. Résultats généraux de l'étude de la résistance de l'air. Représentation et valeur des résultats. Corps sans importance. Corps ayant une importance. *Les avions.* — Description et sommaire de l'avion. Étude aérodynamique des principaux régimes de vol. de l'avion Caractéristiques aérodynamiques de l'avion. Le vol horizontal rectiligne uniforme. Le vol plané. La montée. L'hélice aérienne. Généralités. Théories. Expérimentation. Résultats expérimentaux. Étude complète des principaux régime du vol de l'avion. Le couple moteur. Le vol horizontal rectiligne uniforme. La montée. Le virage. La stabilité. longitudinale, latérale, stabilité de route. Les gouvernes et les commandes. Le pilotage. Étude particulière de l'hydravion. Hydravion en vol et à flot. L'envol et l'amérissage. Notions sommaires sur la construction des avions. Les matériaux. Principaux éléments constitutifs de l'avion. Essais statiques. Le moteur d'aviation. Particularités du fonctionnement du moteur d'aviation. Description du moteur et de ses principaux accessoires. Les dispositifs de conservation de puissance en altitude. Les essais en vol. Instruments de mesure et de contrôle. Établissement d'un avant-projet. *Les aérostats.* — Le ballon libre. Les dirigeables souples et semi-rigides. Les dirigeables rigides. Les ballons captifs, par E. Leroux, ingénieur du Génie Maritime (C. R.), ingénieur de 1-re classe au Corps de l'Aéronautique, avec préface de G. Fortant, ingénieur général de la Marine (C. R), inspecteur général au Corps de l'Aéronautique. Un volume in-8° raisin (16 × 25) de 382 pages, avec 166 figures dans le texte et 1 planche hors texte. Relié . . . . 56 fr.

E. C. BLANC & E. C. ECKEL. — Le Ciment Portland.

Ciments Portland artificiels. Ciments de laitier. Ciments alumineux. Ciments hautes résistances. Matières premières. Matériel de fabrication. Ensemble d'usines. *Les matières premières.* — Le ciment Portland. Généralités. Étude et extraction des matières premières. Concassage. *Les mélanges.* — Calcul des dosages et préparation des mélanges. Généralités. Préparation des mélanges par voie sèche et humide. *La cuisson.* — Cuisson du ciment. Fours fixes. Fours rotatifs. Historique Principe du four rotatif. Thermo-chimie des fours à ciment. Combustibles. Étude et préparation. *Fabrication du ciment.* — Stockage et mouture du clinker. Additions de gypse. Stockage et manutention du produit fini. Production et répartition de la force motrice. Prix de revient. Contrôle de la fabrication. Ensemble d'usines. *Constitution et propriétés du ciment Portland.* — Constitution du ciment. Hydratation. Propriétés. Essais. Essais des ciments. Cahiers des charges. Ciments spéciaux et ciments alumineux fondus Bibliographie, par E. C. Blanc, ingénieur A. M. en collaboration avec Edwin C. Eckel, ingénieur-conseil American Society of Civil Engineers, membre de la Geological Society of America. Préface de J. Hendrickx, ingénieur en chef des Établissements Poliet et Chausson. Un volume in-8° raisin (16 × 25) de 481 pages, avec 190 figures dans le texte et 4 planches hors-texte. Relié . . . . 110 fr.

de

Lp

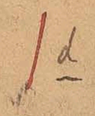
du

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 4,000.000 FRANCS
SIÈGE SOCIAL: PARIS, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
Reg. du Commerce: Seine Nr 207.211 B — Compte Chèques postaux: PARIS Nr 185-34
Succursale à LIÉGE, 1 Quai de la Grande-Bretagne

EN VENTE A LA MÊME LIBRAIRIE

W. KOPACZEWSKI. — L'état colloïdal et l'Industrie. I.

L'état colloïdal et l'industrie. — I. Industrie des colloïdes. État colloïdal de la matière. Historique. Chimie, physique et l'état colloïdal. Industrie des colloïdes naturels. Colloïdes inorganiques, silice, matières colorantes, pierres précieuses, argiles. Colloïdes organiques. Substances protéiques, gélatine, caséine, kératine, fibroine, séricine, albumine. Polysaccharides, amidon, dextrine. Caoutchouc Cellulose. Mucilages. Gommes. Résines. Tannins. Pétroles. Bitumes. Matières colorantes. Humus. Industrie des colloïdes de synthèse. Colloïdes inorganiques artificiels, préparation des sols, application, produits pharmaceutiques, pierres de construction, pigments synthétiques, imitations de pierres précieuses, étude colloïdale des aciers et des alliages, catalyse, préparation des gels. Colloïdes organiques de synthèse, soie artificielle, matières colorantes artificielles, savons, résines artificielles, bakélite, matières plastiques de synthèse, celluloïd, explosifs, tannins artificiels, synthèse de la nacre et des perles, par le Dr W. Kopaczewski, professeur à l'Institut des hautes études de Belgique, docteur ès sciences, docteur en médicine. 1 vol. in-8° raisin (25 × 16) de 327 pages contenant 32 figures dans le texte et 4 portraits hors texte. Broché (650 gr.) 70 fr.



W. KOPACZEWSKI. — L'état colloïdal et l'Industrie. II.

Applications industrielles des propriétés colloïdales. Applications des propriétés mécaniques des colloïdes. Séparations des micelles colloïdales. Catalyse et ses applications. Les applications des propriétés électriques des colloïdes. Sorption et ses applications. Electrophorèse. Conditions d'équilibre de l'état colloïdal. Stabilisation et labilisation des hydrosols. Gonflement et synérèse des gels par le Dr W. Kopaczewski, professeur à l'Institut des hautes études de Belgique. Docteur ès sciences. Docteur en médecine. Un vol. in-8° raisin (25 × 16) de 344 pages, avec 67 figures dans le texte. Broché . . . . 70 fr.

J. TILLIEUX. — Essai d'un traité de Physique.

Essai d'un traité élémentaire de physique selon les théories modernes. Des hypothèses en physique. Divisibilité de la matière. La force. Le mouvement. Le travail et l'énergie. Le Pondérable. — Des mondes. Des corps en présence de la terre. Des corps terrestres. Des molécules. Statique et dynamique des molécules. Des atomes. Des corpuscules. Architecture des atomes. L'Impondérable. — Nature de l'éther. Tension, énergie, inertie, oscillations de l'éther. Tourbillons de l'éther, par J. Tillieux, directeur du collège du Sacré-Coeur, à Mechelen-sur-Meuse (Belgique). 3-e édition entièrement refondue et mise à jour. 1 vol. in-8° raisin (16 × 25) de 960 pages avec 768 figures dans le texte, 12 planches hors texte et 7 planches en couleurs. Broché (1750 gr.) . . . . 112 fr.

A. TENOT. — Cours de Résistance des matériaux.

Cours de résistance des matériaux à l'usage des élèves des établissements d'enseignement technique et des ingénieurs. Calcul des éléments de construction. Méthodes générales pour la recherche des caractéristiques mécaniques des matériaux.

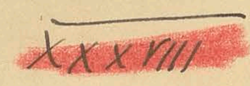
Généralités. Les trois problèmes types fondamentaux de la résistance des matériaux. Rappel de quelques éléments de mécanique: système matériel et corps solide. Classification des forces. Efforts intérieurs dans un solide: effort normal et effort tangentiel. Fatigue de la matière. Élasticité. Charge limite admissible. Règle pratique de Wöhler. Traction ou tension; essai physique. Formule d'équarrissage et de déformation. Coefficient d'élasticité. Calcul des câbles, courroies et chaînes. Compression simple. État plastique des masses fortement comprimées. Cisaillement en glissement transversal. Calcul des rivures et d'un poinçon. Diverses applications de la traction, de la compression et du cisaillement. Éfforts de «température». Généralités sur la flexion. Moments d'inertie. Module de flexion ou d'inertie. Moment fléchissant. Effort tranchant. Équation d'équarrissage et de déformation. Essais de flexion plane. Flexion simple et plane des pièces rectilignes hétérogènes: Béton armé. Calcul des pièces homogènes à la flexion simple et plane. Courbes de flexion et flèches. Torsion des pièces sensiblement rectilignes et cylindriques. Calcul des pièces soumises à la torsion. Torsion des prismes. Ressorts de torsion. Calcul des arbres de machines. Fatigues composées. Pièces chargées debout. Flambage. Essais dynamiques des matériaux. Résistance au choc. Essais d'endurance. Résistance à la pénétration. Bille de Brinell. Statique, graphique. Rôle de l'inertie de la matière. Théorie de l'élasticité. Unités des grandeurs mécaniques et électriques. Symboles. Équation aux dimensions, par A. Tenot, licencié ès sciences, ingénieur des Arts et Métiers et de l'Institut Électrotechnique de Grenoble, ingénieur aux Ateliers Neyret, Beylier et P. P., à Grenoble, avec Préface de M. Roumajon, inspecteur général adjoint de l'Enseignement technique, directeur de l'École Vaucanson. Un volume in-8° raisin (16 × 25) de 393 pages, avec 366 figures dans le texte. Broché (1.300 gr) . . . . 105 fr.

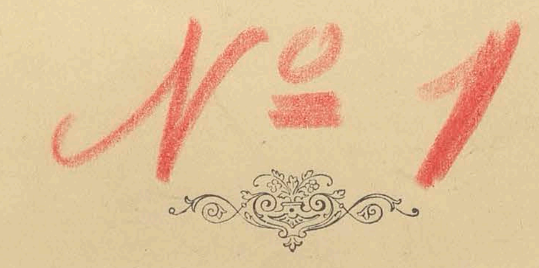
[35]

3
tom III
1928

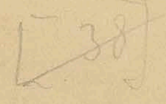
MARYAN SMOLUCHOWSKI

LORD KELVIN



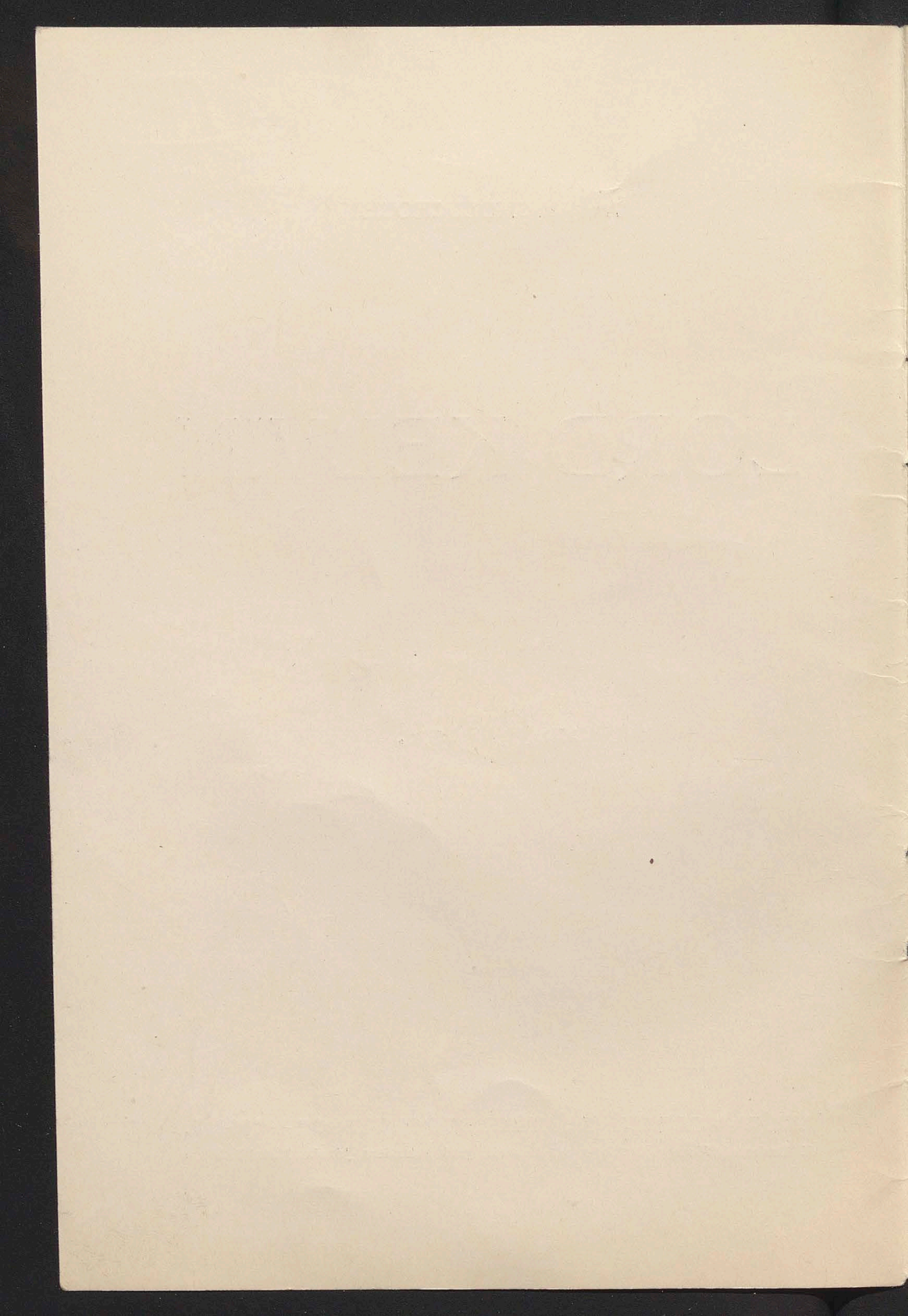


s. 1–15





LWÓW — ODBITKA Z „ATENEUM POLSKIEGO“ — 1908 R.
Z Drukarni Słowa Polskiego we Lwowie, pod zarządem Józefa Ziembińskiego



MARYAN SMOLUCHOWSKI

LORD KELVIN



LWÓW — ODBITKA Z „ATENEUM POLSKIEGO“ — 1908 R.
Z Drukarni Słowa Polskiego we Lwowie, pod zarządem Józefa Ziembińskiego

Ateneum Polskie, tom I, str. 212-228. 1908.

LORD KELVIN

Zgasł jeden z najwybitniejszych umysłów nowszych czasów: dnia 16 grudnia 1907 umarł Lord Kelvin, Earl of Largs, niegdyś Sir William Thomson[1], w 83 roku życia a 67 roku pracy naukowej.

Już sama ta sucha wzmianka kronikarska zawiera w sobie coś imponującego: 67 lat twórczej pracy naukowej! Czyż podobna, żeby natura ludzka rodziła takie zapasy energji umysłowej! Często zdarza się, że dopiero wieść o zgonie sławnego uczonego lub polityka przypomina nam jego ciche, od dawna zapomniane istnienie. Znak to, że śmierć fizyczna była poprzedzona zanikiem twórczości duchowej, lub okresem poświęconym wyłącznie *otio cum dignitate*. Nikomu podobnej myśli nie nasunęła wieść o śmierci Lorda Kelvina. Że jeszcze żył i działał, o tym wiedział cały świat naukowy, śledzący głębokie jego badania nad powstawaniem fal oceanowych, nad budową wewnętrzną atomów, ogłaszane co kilka miesięcy w *Philosophical Magazine* i innych czasopismach fachowych; wiedzieli o tym uczestnicy kongresów naukowych, w których Lord Kelvin do ostatnich czasów nader czynny brał udział. Każdy starał się poznać wielkiego uczonego, który w swej osobie reprezentował cały wielki okres historji nauk ścisłych; z czcią zbliżał się do tej wysokiej postaci, o białej jak śnieg brodzie, i niebieskich marzących oczach, a cześć zamieniała się w podziw, gdy widział, z jakim młodzieńczym entuzjazmem ten starzec umiał wykładać o swoich badaniach naukowych, z jakim ogniem umiał brać udział w dyskusji.

[1] Istnieją dwaj inni uczeni o podobnych nazwiskach, co powoduje częste pomyłki i obecnie znów było przyczyną bałamutnych dziennikarskich wiadomości: John Joseph Thomson, profesor fizyki uniwersytetu w Cambridge, słynny badacz na polu teorji elektronów, i Silvanus Phillips Thompson, profesor elektrotechniki w Finsbury Technical College w Londynie, piszący obecnie biografję Lorda Kelvina.

Była to istotnie postać imponująca: ostatni z generacji owych mężów, którzy stworzyli podstawę fizyki obecnej, którzy odkryli zasadę zachowania energji i drugą zasadę termodynamiki. Carnot, Robert Mayer, Helmholtz, Joule, Clausius dawno już zeszli z tego świata; on jeden pozostał, najpotężniejszy a przedewszystkiem najwszechstronniejszy z nich wszystkich.

Najwszechstronniejszy, gdyż panował z równem mistrzostwem nietylko nad wszelkiemi niemal dziedzinami nauk ścisłych, ale też przez umiejętne ich zastosowanie codziennemu życiu ludzkiemu nowe nadał formy: nazywają wiek XIX wiekiem pary i elektryczności, a że się stał wiekiem elektryczności, nikomu pod tym względem tyle nie zawdzięczamy, jak Kelvinowi.

Ów szeroki światopogląd, owa niezmierna wszechstronność umysłu, z równą siłą podejmującego najsubtelniejsze spekulacje nad budową atomów i eteru, oraz głębokie dociekania nad przeszłością i przyszłością kuli ziemskiej, jako też tworzącego konstrukcję przyrządów, w znakomity sposób dostosowanych do celów życia praktycznego, owa uniwersalność jest najwybitniejszą tego cechą wyróżniającą go od wszystkich, z którymi porównać go można. Każdy inny uczony, jakkolwiek wybitny fachowiec w danej gałęzi, blednie w porównaniu z Kelvinem, gdyż wobec niego wydaje się ciasnym specjalistą, o ograniczonym widnokręgu.

Jako przykład owej wszechstronności przytoczę z osobistych moich wspomnień dwa szczegóły drobne, a jednak charakterystyczne. Mam na myśli jedno z posiedzeń Akademji (Royal Society) w Edynburgu, pod przewodnictwem Lorda Kelvina, na którem między innemi przedłożono pewną rozprawę treści filozoficznej. W ciągu dyskusji poruszono t. zw. rachunek logiczny Boole'a, mający służyć do ujęcia logiki we wzory matematyczne; autor ich przyznał się, że nigdy nie był w stanie jego zrozumieć. Wtedy Kelvin zauważył, że kiedyś przed kilkudziesięciu laty tą rzeczą się zajmował; i ex improviso począł wykładać przed zdumionem audytorjum zarys tego systemu matematyczno-logicznego, którego fachowy filozof nie rozumiał.

W kilka tygodni później znów, gdy na wyjezdnem z Glas-

gowa z nim się żegnałem, zastałem go zajętego rysunkami przyrządów do fabrykacji masła, co do których miał wydać orzeczenie, a właśnie był ukończył studjum spraw patentowych, dotyczących pierścieni pneumatycznych używanych przy rowerach.

W naszych czasach drobiazgowej specjalizacji sława naukowa płynie zazwyczaj bardzo wązkiem korytem; znaczenie powag naukowych zrozumiane i doceniane bywa zazwyczaj tylko przez szczupłe grono adeptów danej nauki; osobistość jej natomiast przedstawia się jako wyjątkowo zajmująca postać, zarówno dla fachowych uczonych jak i dla szerokiego ogółu, nietylko ze względu na pierwszorzędną rolę, którą odegrała w historji kultury XIX. wieku, ale przedewszystkiem ze względu na swą niezwykłą wszechstronność działania.

Działalność tę, a zwłaszcza sprężyny nią kierujące. zrozumiemy lepiej w związku z pewnymi szczegółami biograficznymi.

William Thomson urodził się 26 Czerwca 1824 w Belfast, w Irlandji, gdzie ojciec jego, James, był profesorem matematyki. W roku 1832 ojciec został powołany na katedrę uniwersytetu w Glasgowie, a już w dwa lata później, jako dziesięcioletni chłopiec, William Thomson został zapisany jako student tegoż uniwersytetu. Zdaje się, co prawda, że wówczas ten uniwersytet nie zupełnie stał na dzisiejszej wysokości, że było to coś pośredniego między wyższym liceum a uniwersytetem w dzisiejszym sensie słowa. W każdym razie jednak młody uczony — jako takiego uważano go już przed ukończeniem studjów Glasgowskich — takiego tam doznał wyszkolenia matematycznego, że już w wieku 16 lat ogłosił pierwszą rozprawę naukową, w celu obrony Fouriera teorji przewodnictwa cieplnego przeciwko zarzutom prof. Kellanda z Edynburga. Początkowo wstępuje wyraźnie w ślady wielkich francuskich matematyków, Laplace'a, Fouriera, Fresnela, z których dziełami gruntownie się zapoznał, zachęcony przez profesorów Meiklehama i Nichola; a wpływ owych klasycznych mistrzów do końca życia występuje w jego pracach.

Skończywszy uniwersytet glasgowski, Thomson udaje się w r. 1841 dla wyższego wykształcenia do Cambridge, które zawsze dla Anglji było i jest pierwszym ogniskiem wiedzy mate-

matyczno-przyrodniczej, i wstępuje tam do najstarszego z kolegjów uniwersyteckich, utworzonego w roku 1284 St. Peter's College. W roku 1845 kończy studja uniwersyteckie, odznaczony pierwszą nagrodą konkursową »Smith's Prize«, i zyskuje przy końcowych egzaminach matematycznych kwalifikację »Second Wrangler«. Oznacza to numer drugi ogólnej lokacji, która absolwentów dzieli na wranglers, senior optimes i junior optimes. Że wtedy egzaminatorzy, nie zupełnie doceniając genjusz Thomsona, na pierwsze miejsce wysunęli niejakiego Parkinsona, który niczym później się nie odznaczył, do dziś dnia stanowi zarzut często podnoszony przeciwko instytucji owych egzaminów; który ostatecznie nie mało do tego się przyczynił, że obecnie lokację porządkową zniesiono, pozostawiając tylko podział na ogólne grupy.

Thomson potym zostaje wybranym fellow (t. j. stypendystą i do pewnego stopnia współkierownika) swego kolegjum, wyjeżdża do Paryża, do laboratorjum słynnego Regnaulta, ale już w następnym roku 1846 zostaje powołanym na katedrę fizyki, czyli według angielskiego terminu »filozofji natury« (natural philosophy) do Uniwersytetu glasgowskiego, i tę posadę zatrzymuje aż do roku 1899.

Głównym przedmiotem jego prac naukowych z pierwszego okresu była analiza matematyczna zjawisk elektrostatyki i magnetyzmu; i na tym polu okazał niepospolite zdolności matematyczne.

Wynikiem tych prac była nadzwyczaj pomysłowa metoda obliczenia rozmieszczenia elektryczności na przewodnikach, oraz cały szereg zasadniczych twierdzeń z teorji potencjału, które do dziś dnia służą nam za podstawowe twierdzenia tej gałęzi nauki, ale których znaczenia na tym miejscu szczegółowo wyłuszczać niepodobna. Część ich coprawda odnalazł później w dawno zapomnianym dziele Greena (1828), które sam na nowo ogłosił, ażeby na nie zwrócić uwagę świata uczonego. Z późniejszych jego badań teoretycznych w dziedzinie elektryczności wymienimy tylko jeszcze jedno z najważniejszych: odkrycie, że iskra elektryczna składa się z całego szeregu drgań elektrycznych. Istnienie tych

drgań sprawdził później Feddersen doświadczalnie, a Hertz dowiódł, że wzbudzają one owe słynne fale elektryczne.

Na zupełnie nowe tory popchnęło go spotkanie i poznanie się z Joulem na zjeździe British Association w Oxfordzie 1847. Thomson wysoko cenił mało znane dzieło młodo zmarłego francuskiego uczonego Sadi Carnota: »Sur la puissance motrice du feu«, w którym tenże dowodził, że do wytworzenia pracy mechanicznej z ciepła, np. w maszynie parowej, potrzeba, żeby ciepło, uważane według powszechnej opinji za substancję, zostało przeniesione z wyższej temperatury do niższej, podobnie jak woda, spadając z wyższego na niższy poziom, wytwarza pracę przez obracanie koła wodnego. Joule z drugiej strony na podstawie nadzwyczaj starannych doświadczeń doszedł do przekonania, że ciepło może się zamieniać w równoważną pracę mechaniczną i na odwrót; że to są tylko różne formy, różne postaci energji, których suma pozostaje niezmienna.

Takie zapatrywanie zdawało się Thomsonowi sprzecznym z zasadą Carnota; przez kilka lat wahał się je przyjąć, aż w r. 1851 poznał, że jedno i drugie twierdzenie jest prawdziwe i że wszelkie sprzeczności znikają, jeżeli się Carnota zasadę oczyści od mylnego założenia, że ciepło jest niezniszczalną substancją, t. zw. fluidum cieplnym, jak woda. Forma, w którą Thomson ujął tak poprawione rozumowania Carnota brzmi: »Nie można uzyskać pracy mechanicznej zapomocą oziębienia ciała poniżej najniższej temperatury otoczenia«. Niepodobna na tym miejscu tłumaczyć znaczenia i konsekwencji tego pozornie skromnego i mało mówiącego twierdzenia, zaznaczę tylko, że ono wraz z ową zasadą zachowania energji, udowodnioną przez Joule'a, stało się myślą przewodnią w konstrukcji maszyn parowych, gazowych i t. p., że ono zrodziło całą nową gałąź umiejętności, t. zw. chemję fizyczną; co więcej śmiało można powiedzieć, że stało się osią, około której obraca się cała fizyka nowoczesna.

Historja tych odkryć, najważniejszych niewątpliwie od czasów badań Newtona, jest także pod tym względem ciekawa, że dowodzi jak idee, będące na czasie, równocześnie a niezależnie rodzić się mogą w różnych umysłach. Tak jak Joule sławą od-

krycia zasady zachowania energji dzielić się musi z R. Mayerem i Helmholtzem, tak Thomson pierwszeństwo ogłoszenia tej t. zw. drugiej zasady termodynamiki odstąpić musiał Clausiusowi, który w Niemczech podobne rozumowania ogłosił kilka miesięcy pierwej.

Wogóle jednak Thomson rozległością i płodnością swych badań na tym polu daleko przewyższył Clausiusa. On to pierwszy podał sposób określenia bezwzględnej podziałki temperatury, niezależnej od rodzaju termometru używanego, i w związku z tym obliczenie bezwzględnego zera temperatury (— 273 ° C). On to pierwszy zwrócił naszą uwagę na ogólną tendencję przyrody do »dyssypacji« energji, czyli do bezustannego marnotrawienia zapasów energji, która wciąż cały świat dalej posuwa na bezpowrotnej drodze ku wyczerpaniu, ku śmierci.

Dalej zapomocą dedukcji teoretycznej na podstawie owych zasad wyprowadził cały szereg wniosków o związku zjawisk cieplnych z sprężystością, włoskowatością, magnetyzmem i t. d., a te wyniki zachęciły go to do badań eksperymentalnych koło doświadczalnego ich stwierdzenia. Tak udowodnił wspólnie ze starszym bratem, Jamesem, profesorem mechaniki na uniwersytecie glasgowskim, że użycie ciśnienia zewnętrznego obniża temperaturę topliwości lodu; następnie wspólnie z Joulem wykonał owe klasyczne badania nad zmianą temperatury gazów będących w ruchu, które czterdzieści lat później Lindemu i Hampsonowi nasunęły myśl budowy dziś używanych przyrządów do skroplenia powietrza i które umożliwiły w dalszym ciągu Dewarowi i Olszewskiemu skroplenie wodoru i osiągnięcie temperatury — 270 °.

Wreszcie chęć sprawdzenia pewnych wniosków z zakresu zjawisk termoelektrycznych (między innemi t. zw. »efektu Thomsona«) doprowadziła go na kwestję eksperymentalnych pomiarów elektrycznych. Wówczas w zakresie zjawisk elektrycznych, które były dawniej ulubionym przedmiotem jego świetnych dociekań matematycznych, odczuł ogromny brak dokładnych przyrządów do praktycznego wykonania pomiarów elektrycznych, brak ściśle określonych jednostek, w których by można wyniki pomiarów wyrazić. Tu otworzyło mu się nowe, rozległe pole działania, od-

powiadające wrodzonej inwencyjności jego umysłu; rozpoczął się nowy okres jego działalności.

Z tym większym zamiłowaniem zwrócił w tym kierunku swoją energję, że w owym czasie wyłoniła się właśnie kwestja, naukowo ciekawa, a doniosła pod względem praktycznym, czy nie byłoby możliwem połączyć Europę z Ameryką zapomocą telegrafu podmorskiego. Pierwszorzędne powagi nauki i techniki, np. astronom Airy, uważały ten pomysł początkowo za utopję. Twierdzono, że niemożliwem będzie ułożenie takiego kablu na dnie morza, w głębokościach przenoszących 4000 m; że nawet gdyby się rzecz udała, niemożliwem będzie przesyłanie dostatecznie silnych impulsów elektrycznych, któreby dały efekty dostrzegalne; twierdzono, że kable musiałyby się zniszczyć w krótkim czasie wskutek ruchu fal i uszkodzeń przez zwierzęta morskie, a co najważniejsze, że ogromny kapitał wymagany do takiego przedsięwzięcia byłby dosłownie utopiony w morzu.

Kelvin natomiast, obliczywszy sposób rozchodzenia się impulsów elektrycznych w kablach i przekonawszy się o teoretycznej możliwości tego projektu, zajął się z całym entuzjazmem praktycznym jego wykonaniem. Wypracował szczegółowy plan założenia i sposobu używania telegrafu podmorskiego, wymyślił odpowiednie przyrządy o bajecznej pomysłowości konstrukcji i wreszcie w roku 1858 jako dyrektor kompanji telegrafu transatlantyckiego wziął osobiście udział w ułożeniu pierwszego kabla z Irlandji do Nowej Fundlandji. Wiadomo, że początkowo sceptycy tryumfowali, gdyż pierwszy ten kabel po kilkutygodniowym funkcjonowaniu zepsuł się zupełnie, a następny w roku 1865 przerwał się w trzech czwartych drogi z Europy do Ameryki; wreszcie w roku 1866 osiągnięto zupełny sukces. Dziś długość kabli podmorskich wystarczyłaby do opasania ziemi kilkanaście razy dokoła; dziś przeglądając w gazecie bezmyślnie telegramy z Nowego Yorku, Brazylji, Australji, ani sobie sprawy nie zdajemy, że do tak niedawna ludzkość tworzyła luźne zbiorowiska wyspowe mało na siebie wzajemnie oddziaływujące, że od czterdziestu lat dopiero istnieją nerwy, łączące ludzkość w jeden organizm. Mimo, że ta gałąź techniki w tak olbrzymi

sposób się rozwinęła w tym czasie, to przecież wciąż jeszcze używamy do odbierania znaków w telegrafji podmorskiej owego cudownego instrumentu, który Thomson ochrzcił »syphon recorder« i który stał się prototypem większości galwanometrów (t. zw. typu Deprez-d'Arsonval), dzisiaj w naszych laboratorjach używanych.

Instrumenty elektryczne Thomsona były objawieniem dla fizyków; nigdy przedtem nie przypuszczano, żeby w obrębie tych na pozór tak nieuchwytnych zjawisk dały się wykonać tak ścisłe pomiary. Ale też Thomson nie zadawalał się konstrukcją przyrządu odpowiadającego danemu celowi, lecz żądał przyrządu możliwie najdoskonalszego, tak żeby nic do poprawienia nie zostało. Doskonałość zaś osiągał nie próbowaniem, lecz drogą analizy matematycznej, a pod tym względem jego prace są wzorami racjonalnej metody wynalazczej. Elektrometr kwadrantowy, elektrometr bezwzględny, galwanometr zwierciadłowy, przez dziesiątki lat były podziwiane jako ozdoby pracowni fizycznych, a dzisiaj jeszcze w mało co zmienionej formie służą do najdokładniejszych pomiarów; również cały szereg najróżnorodniejszych, nader pomysłowych jego »praktycznych« woltmetrów, ampermetrów, wag elektrycznych i t. d., dzisiaj jeszcze powszechnie jest używany w praktyce laboratoryjnej i technicznej, zwłaszcza w Anglji (u nas znacznie lichsze niemieckie wyroby i naśladownictwa są więcej rozpowszechnione). A także koło ścisłego ustalenia dziś używanych miar i jednostek elektrycznych Thomson wielkie położył zasługi. Wogóle jeżeli dzisiaj pomiary elektryczne prawie z taką łatwością i dokładnością wykonujemy, jak ważenie i mierzenie długości, to w znacznej mierze jemu to zawdzięczamy.

Zajęcie się telegrafją podmorską także inny dla Thomsona miało skutek: wzbudziło w nim gorącą miłość do morza; kto raz miał szczęście zapoznać się z przyrodą w tej najwspanialszej jej postaci, pozostanie pod jej czarem przez całe życie. Zabrał się do fachowych studjów nautyki, złożył egzamin kapitański, zakupił mały yacht żaglowy, pojemności 127 ton, »Lalla Rookh«, i odtąd cały czas wolny od zajęć uniwersyteckich spędzał na

morzu, sam prowadząc swój statek wśród mgły i burz, zastanawiając się nad odwiecznym problemem nawigacji: znalezienia drogi na bezmiernych przestrzeniach oceanu; i wśród przepotężnej przyrody oceanu rozmyślał nad dziejami ziemi, księżyca i słońca. Owocem tych godzin skupienia były po części wynalazki praktyczne, po części studja teoretyczne.

Dopóki marynarz widzi słońce, księżyc lub gwiazdy, może się orjentować na otwartem morzu zapomocą obserwacji astronomicznych. Ten sposób orjentowania się Thomson ułatwił przez szczegółowe opracowanie t. zw. metody Sumnera, dawniej zbyt mało znanej. Właściwe jednak trudności i niebezpieczeństwa nastają dla marynarza, gdy nie widać ani lądu, ani ciał niebieskich, gdyż nigdy dokładnie wiedzieć nie można, o ile prądy i wiatry statku z właściwej drogi nie wyprowadziły. Jedyną ucieczką wtedy pozostaje sondowanie głębokości i porównanie danych otrzymanych z dokładną mapą głębin oceanowych; ale sondowanie liną większych głębokości wymaga zatrzymania statku i kilkugodzinnej natężającej pracy, i dla tego rzadko bywało używane. Thomson też miał szczęśliwy pomysł zastąpienia liny stalowym drutem fortepjanowym, co zmniejszyło nadzwyczajnie ciężar całego przyrządu i umożliwiło wykonanie tej operacji w ciągu kilku lub kilkunastu minut, bez zatrzymania biegu statku; i to dopiero nadało metodzie sondowania ogromne praktyczne znaczenie.

Najważniejszem było jednak wydoskonalenie kompasu okrętowego. Na miejsce dawnych kompasów, zawierających dużą, ciężką igłę magnetyczną, zaprowadził kompas o nadzwyczaj delikatnej a solidnej konstrukcji; składającego się z kilku słabo namagnesowanych drobnych igiełek, połączonych zapomocą włókien kokonowych z ruchomą tarczą aluminjową kompasu, który bezporównania mniej podlega wahaniom wskutek ruchów statku i wiele dokładniej ochronić się daje od szkodliwych wpływów żelaza okrętowego. Ten ostatni wzgląd przy obecnej budowie statków, prawie wyłącznie z żelaza, tak jest ważny, że na całym świecie powszechnie przyjęto owe kompasy Thomsona.

Wybitne miejsce zajmują dalej jego badania przypływu i odpływu morza. Praktyczne znaczenie tych zjawisk oceni należycie

tylko ten, kto poznał bliżej tryb życia ludzkiego nad brzegiem wielkich oceanów, stosującego się nie do dnia i nocy, lecz do przypływu i odpływu morza. Otóż Thomson na podstawie teorji, naszkicowanej przez Laplace'a, skonstruował przyrządy automatycznie zapisujące stan wody, automatycznie wynajdujące prawidłowości całego zjawiska dla danej miejscowości i automatycznie przepowiadające jego przebieg na jakibądź czas naprzód. Rezultaty otrzymywane zapomocą tych maszyn admiralicja angielska ogłasza w formie tablic dla użytku marynarki, a metoda wynalezienia prawidłowości w zjawiskach okresowych, t. zw. analiza harmoniczna, znajduje coraz szersze zastosowanie także w innych dziedzinach nauki.

Owe zjawiska mają jednak także wybitne znaczenie kosmiczne; w ciągu wieków muszą powodować stopniowe opóźnienie ruchu obrotowego ziemi, oraz stopniowe oddalanie się księżyca od ziemi. Thomson nauczył nas wnioskować z nich nawet o stanie wewnętrznego jądra ziemi: wykazał mylność zapatrywania, jakoby ziemia wewnątrz była zupełnie płynna, pokryta tylko cienką stałą skorupą; przeciwnie ziemia okazuje taką sztywność wobec krótko działających sił odkształcających, jak gdyby była kulą ze szkła lub stali.

Wkroczyliśmy tu już w obręb Geologicznych i astrofizycznych badań Thomsona. Nie wchodząc w inne prace (jak rozważania nad źródłami energji słońca, wytłumaczenie obniżenia temperatury w wyższych warstwach atmosfery i t. p.) wspomnieć należy o najsławniejszej z nich wszystkich: o obliczeniu »wieku ziemi«, t. j. czasu, który upłynął od chwili, gdy stopiona kula ziemska pokryła się skorupą skrzepniętą, aż do dziś dnia. Geologowie szkoły »uniformitarnej« wyobrażali sobie, że ten czas jest niezmiernie długi, że liczy się miljardami lat; natomiast Thomson, którego ten problemat już za czasów uniwersyteckich zajmował, ogłosił 1862 rozprawę, w której z wzrostu temperatury obserwowanego przy kopaniu szybów, w związku z teorją przewodnictwa cieplnego, wnioskował że ów wiek ziemi nie może przenosić 100 miljonów lat; a później w roku 1899 zredukował tę liczbę do 20 miljonów lat. Nie można przemilczeć słabej strony

tego wywodu, którą jest przyjęcie liczb dla przewodnictwa wnętrza ziemi na podstawie pomiarów skał, tworzących jej warstwy zewnętrzne; w ostatnich latach podniesiono też zarzuty przeciwko podstawom rachunku ze względu na odkrycie substancji promieniotwórczych, bezustannie wywiązujących ciepło. Obecnie przyjmujemy z różnych powodów, że wiek ziemi jest nieco dłuższy, niż Thomson chciał przyznać. W każdym razie podziwiamy dotychczas śmiałość i genjalność pomysłu owego obliczenia, które stworzyło nową epokę w badaniach geofizycznych, wprowadzając ścisłe metody fizyki matematycznej w dziedzinę zjawisk geologicznych, i które stało się wzorem dla innych spekulacji podobnego rodzaju.

W bezpośrednim związku z przyrodą morza jest inny ulubiony przedmiot badań Thomsona: hydrodynamika, zwłaszcza teorja fal wodnych. Niewątpliwie ciągłe obcowanie z tym żywiołem, codzienna obserwacja tych najróżnorodniejszych i najciekawszych zjawisk przyrody martwej, jakiemi są fale wodne, jest przyczyną, że Anglicy wogóle z takim zamiłowaniem ten przedmiot uprawiają. Pośród ich badań zaś prace Thomsona, prowadzone aż do ostatnich tygodni życia, zajmują pierwszorzędne miejsce, przyczyniając się niemało do objaśnienia różnych zagadkowych zjawisk z tego zakresu. Dziwnym może się wydawać, że mówimy tu o zagadkowości tych pozornie prostych, codziennych zjawisk. Istotnie jednak hydrodynamika należy do najwięcej skomplikowanych i najciemniejszych dotychczas części całej fizyki, mimo że od dawna w ogólnych równaniach hydrodynamicznych mamy klucz do zupełnego jej objaśnienia. Przyczyną, że z tego klucza nie potrafimy należycie korzystać, są nadzwyczajne trudności analizy matematycznej, które tylko przez usiłowania genjalnych matematyków, jak Thomson, przezwyciężone być mogą.

W latach ośmdziesiątych zaczyna się trzeci okres czynności naukowej Thomsona, charakteryzowany powrotem do abstrakcyjnych przedmiotów rozumowania. Jeszcze w roku 1867 wygłosił słynną hypotezę, że atomy są to obręcze wirowe eteru (podobne do znanych »kółek dymu«). Później porzucił tę hypotezę, ponieważ poznał konieczność przyjęcia, że eter ma właściwości

sprężyste nie cieczy, lecz ciała stałego, albo może smoły lub galarety; i odtąd rozmyślał nad sposobami, jakby sobie można wyobrazić strukturę takiego eteru. Znana jest zwłaszcza jego hipoteza eteru »gyrostatycznego«, t. j. złożonego z systemu połączonych ze sobą wirujących krążków. Niewątpliwie wpłynęły tu na niego do pewnego stopnia pokrewne spekulacje Maxwella; i zapewne ten sam wpływ skłonił go do rozważań nad budową materji. Thomson wstąpił jednak na drogę całkiem od Maxwella niezależną, wskrzeszając pewne hipotezy co do sił atomowych, wygłoszone w końcu wieku XVIII przez chorwackiego jezuitę Boscovicha, łącząc je z teorją Francuza Bravais o strukturze kryształów i dochodząc w syntezie do nader ciekawych i, jak sądzę, dziś jeszcze niedocenionych wniosków o atomistycznej budowie ciał stałych.

W ostatnich czasach zajęły go również żywo nowo odkryte zjawiska fizyki elektronowej, promienie Röntgena, katodowe i promieniotwórczość; i także na tem polu pozostał wierny swej metodzie, usiłując wszystko wytłumaczyć na podstawie założeń co do mechanicznej istoty eteru i atomów. W tych pracach mniej miał zwolenników; bo ten sposób zapatrywania obecnie »wyszedł z mody«; ale zastanowić musi nas fakt, świadczący chyba o żywotności tych jego pomysłów, że hipoteza jego co do składu atomów z cząstek dodatnio i ujemnie naelektryzowanych w mało zmienionej formie podjęty została przez prof. J. J. Thomsona, gwiazdę młodszej generacji fizyków, tworząc podstawę jego genialnych teoryj co do struktury atomów, za które tenże odznaczony został nagrodą Nobla. Zaznaczę nawiasem ciekawy szczegół, że pierwsze prace naukowe, któremi się wsławił tenże J. J. Thomson, i za które otrzymał nagrodę Adamsa, były poświęcone rozwinięciu matematycznemu owej dawniejszej hipotezy Kelvina, o istocie atomów jako obręczy wirowych eteru.

Naszkicowaliśmy tu tylko najwybitniejsze rysy jego działalności aby dać ogólne o niej pojęcie; zresztą wystarczy wspomnieć, że liczba jego rozpraw naukowych jest koło 400.

Ale, starajmy się obecnie scharakteryzować ogólny typ jego umysłowości. Przedewszystkiem trzeba zaznaczyć, że nie był to właściwie umysł przyrodniczy, lecz umysł matematyczny, albo raczej geometryczno-konstrukcyjny. Zdaje się zresztą, że to jest cechą wspólną wielkich mistrzów nauk ścisłych, teoretyków i eksperymentalistów, że największe postępy w tych naukach zawdzięczamy raczej myśleniu konstrukcyjno-dedukcyjnemu, aniżeli metodzie indukcyjnej, pomimo że ostatecznie zawsze doświadczenie musi być sprawdzianem teorji.

Doświadczalną pracę cenił wysoko, ale dziwnym może się wydać, że człowiek, który swoimi wynalazkami tak nadzwyczajnie wydoskonalił metody doświadczalne, sam większych precyzyjnych badań doświadczalnych nie wykonał. W pracach wspólnie z innymi podjętych on zwykle dawał pomysły, dyrygował pracą, zostawiając drugiemu raczej wykonanie. Sądzę, że Thomson był zbyt ruchliwy, a może i niecierpliwy. Z przyjemnością i wdzięcznością wspominam nadzwyczajnie ciekawy czas spędzony w Glasgowie przed 11 laty, kiedy Thomson (wówczas już Lord Kelvin), Beattie i ja wspólne wykonywaliśmy prace nad pewnemi, wówczas jeszcze nowemi zjawiskami przewodnictwa elektrycznego w gazach; żywo pamiętam jak każdego ranka, wstępując do laboratorjum, już w chwili, gdy drzwi odchylał, wołał: »Czyście Panowie znaleźli coś nowego?« Nie zdarza się to codziennie, w pracach doświadczalnych, ale jaki to był entuzjazm, gdy można mu było »coś nowego« opowiedzieć. Kilkakrotnie, gdy proponowaliśmy mu zamiast więcej pobieżnego poznawania całego, ogromnie rozległego przedmiotu, wyczerpujące zgruntowanie jakiejś jego części, odpowiadał: »Tak, to byłoby niewątpliwie nadzwyczajnie ciekawe, ale moglibyśmy strawić na tem całe nasze życie, więc lepiej dajmy temu pokój!«

Istotnie, umysł jego bezustannie i gorączkowo pracował, jakby obawiał się zmarnowania choćby jednej chwili życia. Sławny był jego »green note-book«, notes, który wciąż nosił ze sobą, aby w każdej chwili, czy w kolei, czy na koncercie, notować pomysły, jakie mu się nasuwały.

Dziwnem i ubolewania godnem było, że nie miewał więcej

młodych współpracowników w laboratorjum; ilu jest niemieckich i amerykańskich profesorów, którzy są otoczeni całą rzeszą młodych »doktorandów«, żądnych pracy, którzy posiadają wspaniałe laboratorja, a nie mają pomysłów. Przyczyną może po części tradycją wieków uświęcony mir uniwersytetów Oxford i Cambridge, przyćmiewający wszystkie inne uniwersytety, a zatem i Glasgow, poczęści zaś ubogie wyposażenie laboratorjum. Choć umieszczone we wspaniałym gotyckim pałacu uniwersyteckim, na szczycie pagórka, co do urządzenia wewnętrznego, było to raczej muzeum zabytków instrumentalnych, wyranżowanych przyrządów Thomsona, aniżeli nowoczesny instytut fizyczny. Pamiętam ciągłe kłopoty z akumulatorami, z przeciążoną dynamo-maszyną, której zbroje się rozlatywały, tak, że musieliśmy je sznurkiem wiązać i lepić klejem, i t. p., pamiętam opornicę, złożoną z zardzewiałych powykręcanych drutów, umocowanych na jednej ze ścian sali. Różne tam były ciekawe przyrządy; między innemi także kilka urządzeń do doświadczeń »wiekowych« (secular experiments). Tak n. p. od szczytu wieży gmachu aż do laboratorjum sięgał drut, na którym wisiał ciężar; miało to służyć do wykazania powolnego wydłużania drutu w skutek stałego, latami trwającego, naprężenia. Opowiadano jednak, że studenci czasami przyśpieszali proces wydłużania przez porządne szarpnięcie tego drutu.

Wogóle studenci nieraz nie doceniali wielkości swego Mistrza; prawda, że często nie rozumieli jego wykładu, nie liczącego się z ograniczonością przeciętnej mózgownicy. Jako prelegent podlegał też tej wadzie, że przedmiot go »unosił«; mówiono z nieco złośliwą przesadą, że czwarta część wykładu bywała poświęcona na wstęp, a dwie czwarte na rozmaite bardzo ciekawe, ale nie należące do rzeczy, dygresje, tak, że przy rozpoczęciu właściwego przedmiotu zwykle już czas był przekroczony, a znużona publiczność pozostawała więcej pod wrażeniem jego entuzjastycznego zapału, aniżeli logicznej siły argumentów.

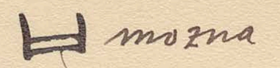
Częstość dygresyj i brak systematycznego układu występuje również w jego pismach, jak n. p. w słynnym wspólnie z prof. Taitem rozpoczętym dziele: *Treatise on Natural Philosophy*,

które mimo, że zostało niedokończone, niezwykłym bogactwem myśli i oryginalnością przedstawienia przedmiotu niepomierny wpływ wywarło na rozwój nauki. To samo da się powiedzieć o dziele traktującym mechaniczną teorję światła, wydanym kilka lat przed śmiercią: »*Baltimore Lectures*«.

W wszystkiem tem dostrzegamy dalszą charakterystyczną właściwość jego intelektu, z której wypływa wszechstronność jego działania: jest to umysł nie uznający systemizowania, szufladkowania nauki. Nauka dla niego jest jedna. Z równym entuzjazmem podejmuje każdy nowy problem, wszystko dla niego jest zajmującym, każdy szczegół dla niego jest ważny, wszystko »należy do rzeczy«.

Inną wybitną cechą jest niezwykła samodzielność; — ta samodzielność jest właściwem źródłem jego gienjalności, która nam wskazała nowe drogi w badaniach naukowych i w ich zastosowaniu praktycznem. Wskutek nietroszczenia się o prace innych często nawet zdarzało mu się odkryć drugi raz co już inni odkryli. Obce myśli wogóle przyjmował trudno — jeżeli je przyjmował, to przynajmniej formę ich przerabiał na swoją modłę. Wynikał stąd z drugiej strony pewien konserwatyzm zapatrywań, zwłaszcza w późniejszym wieku; nie troszcząc się o modne teorje fizyczne, szedł dalej raz upatrzoną drogą. Pozostał nieprzyjacielem powszechnie dziś przyjętej teorji dysocjacji elektrolitycznej, nie darzył nigdy sympatją elektromagnetycznej teorji światła, a tem mniej obecnych dążeń tłumaczenia zjawisk materjalnych, wogóle całej fizyki jako objawów elektryczności.

Ze zdziwieniem czytamy u niego — wobec wspaniałego rozkwitu teorji elektrycznej światła w obecnych czasach — że »dotychczas nie wiele nam pomogła w zrozumieniu rzeczy«. Ale pojmujemy jego stanowisko gdy w innem miejscu znajdujemy charakterystyczne słowa: »Zdaje mi się, że prawdziwy sens pytania, czy rozumiemy dane zjawisko fizyki lub nie, jest: czy możemy sobie skonstruować odpowiedni model mechaniczny? Nigdy nie będę zadowolony, dopóki nie potrafię zrobić modelu mechanicznego przedmiotu; jeżeli potrafię, to rozumiem; jeżeli nie potrafię, to nie rozumiem«.



To jest jego wyznanie wiary. Nie myśli wcale ignorować istnienia fal Hertza, doświadczeń nad elektronami i t. d., wszak sam wspólnie z H. Poincarém zorganizował badania (1903), które ostatecznie rozwiązały zasadniczą kwestję sporną nowszej elektrodynamiki co do właściwości t. zw. konwekcyjnych prądów elektrycznych. Ale wierzy, że wszystko ostatecznie musi się dać wytłumaczyć pewną strukturą mechaniczną eteru i materji; w odkryciu tego mechanizmu upatruje zadanie fizyki i cel swego życia. Gruntownemu wyszkoleniu w mechanice, uważanemu w Anglji za podstawę do badań ścisłych, oraz wrodzonym w tym kierunku zdolnościom konstrukcyjnym zawdzięczał główne tryumfy swego życia; wiernym pozostał do końca sztandarowi mechanicznego światopoglądu. Czy nauka nie powróci kiedyś do tego chwilowo opuszczonego hasła?

Wypada nam jeszcze uzupełnić zarys biograficzno - osobisty. Po wykonaniu pierwszej linji kablowej do Ameryki, w uznaniu swych zasług koło nauki i techniki, został mianowany baronetem w roku 1866. Odtąd więc nazywa się Sir William Thomson, a w r. 1892 zostaje dziedzicznym Lordem, z czem jest związana zmiana nazwiska. Przyjął nazwisko rzeczki Kelvin, przepływającej u stóp pagórka, na którym się wznosi uniwersytet Glasgowski, a przydomek według posiadłości Largs, w zachodnio-południowej Szkocji, gdzie spędzał czas wolny od zajęć uniwersyteckich i od podróży. Ród jednak wygasł, gdyż i pierwsze małżeństwo, z Miss Crum i drugie, z córką angielskiego obywatela Blandy, z wyspy Madeiry, którą poznał podczas swych wycieczek morskich, pozostało bezdzietne.

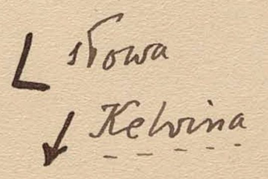
Pochodząc z rodziny niezamożnej, dorobił się jednak znacznego, nawet na angielskie stosunki, majątku, po części swemi przedsiębiorstwami kablowemi, po części czynnością jako rzeczoznawca techniczny, głównie jednak swemi wynalazkami. Początkowo patentowane jego instrumenty wyrabiał mechanik J. White w Glasgowie, później powstała spółka poświęcona wyłącznie wyrobowi tych przyrządów, w której imię

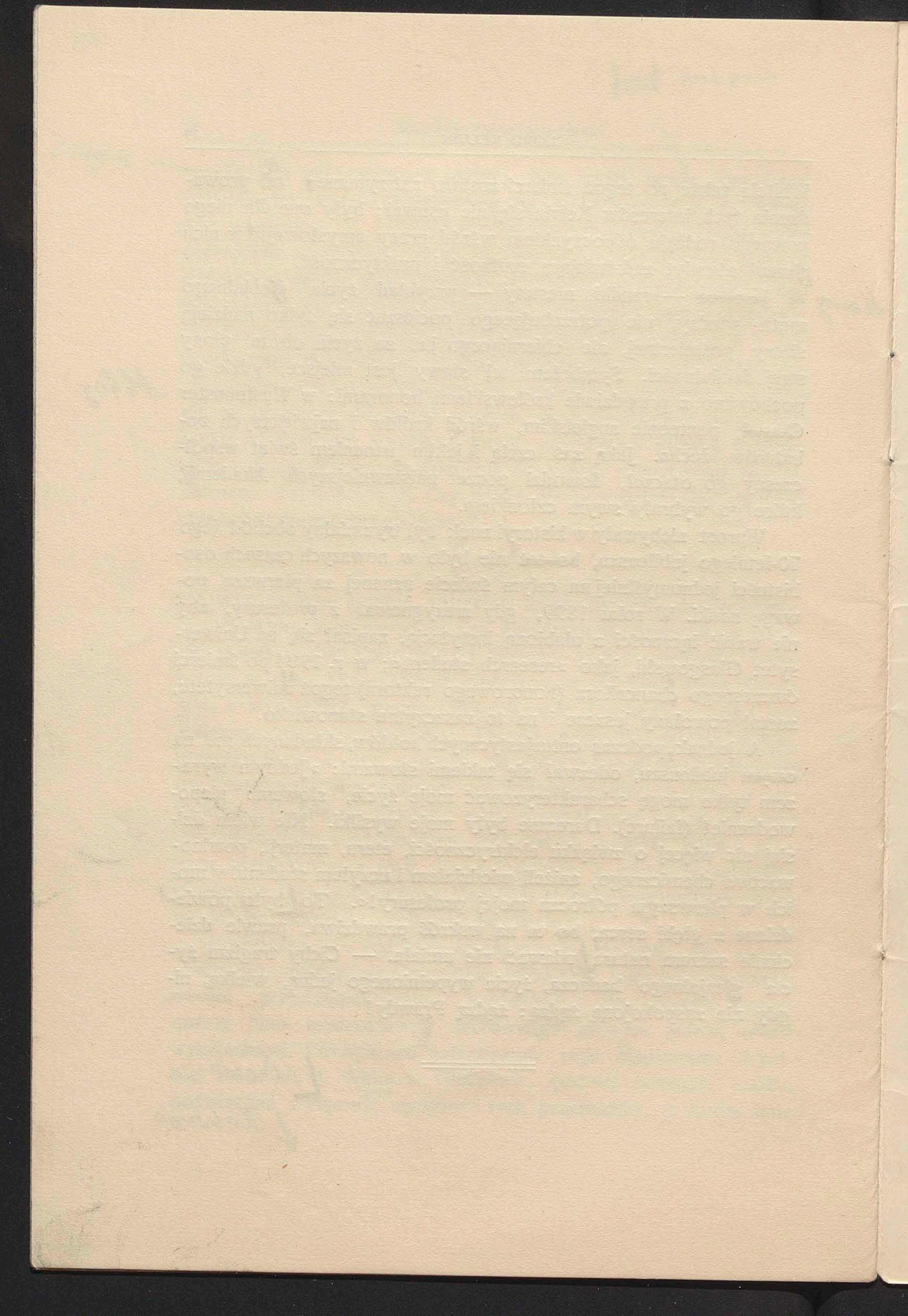
White'a także po tegoż śmierci zostało zatrzymane. Od prowadzenia tych interesów Kelvin się nie usuwał; były one dla niego pewnego rodzaju odpoczynkiem wśród pracy umysłowej; w nich okazał również zadziwiającą rzutkość i praktyczność.

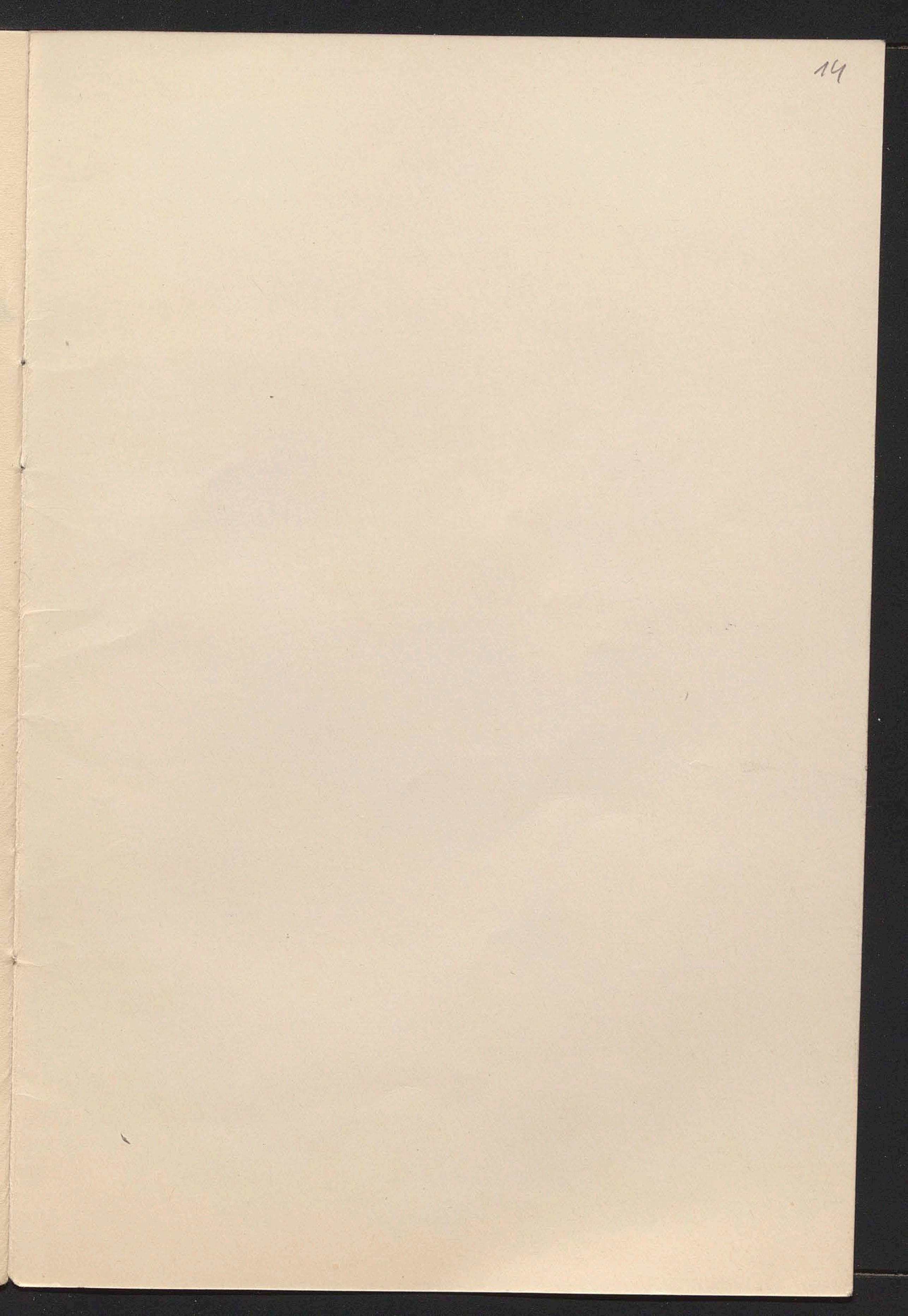
Jest to — rzadki niestety — przykład życia genjalnego męża wiedzy, nie potrzebującego pocieszać się tylko nadzieją sławy pośmiertnej, ale zbierającego już za życia obfite plony swej działalności. Symbolem tej sławy jest miejsce, gdzie go pochowano z prawdziwie królewskiemi honorami: w Westminster Chapel, panteonie angielskim, wśród królów i największych bohaterów ducha. Jaką zaś czcią i jakim uznaniem świat współczesny go otaczał, dowodzi poczet najsławniejszych Akademij, które go wybrały swym członkiem.

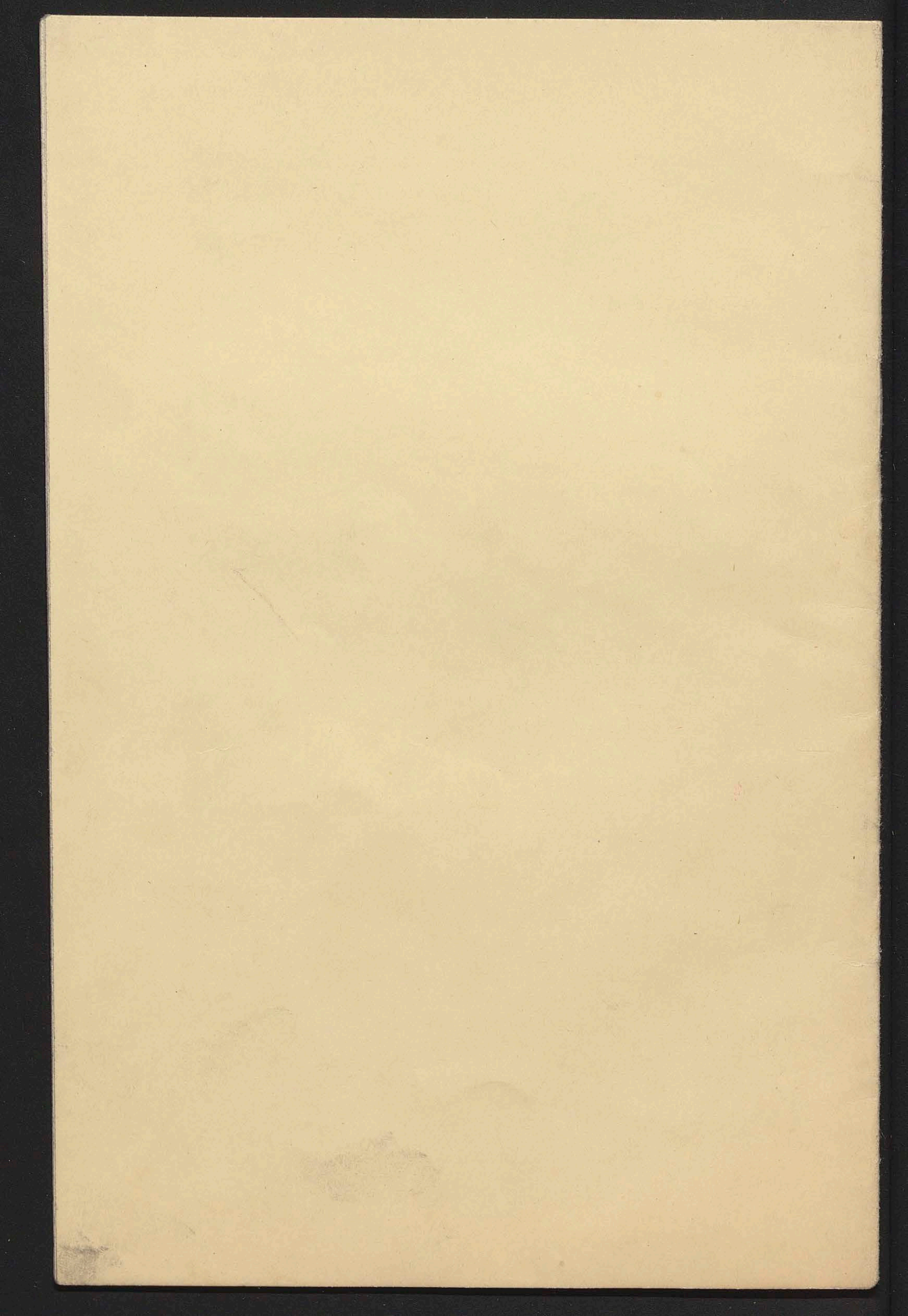
Wprost niebywały w historji nauk był tryumfalny obchód jego 70-letniego jubileuszu, bo też nie było w nowszych czasach osobistości jednomyślniej na całym świecie uznanej za pierwszą powagę nauki. W roku 1899, gdy zrezygnował z profesury, aby nie tracić łączności z ulubioną instytucją, zapisał się na Uniwersytet Glasgowski, jako »research student«; w r. 1904 po śmierci ówczesnego chancellora (honorowego rektora) tegoż uniwersytetu, został powołany jeszcze i na to zaszczytne stanowisko.

A jednak podczas entuzjastycznych hołdów, składanych mu na owym jubileuszu, odezwał się takiemi słowami: »Jednym wyrazem tylko mogę scharakteryzować moje życie, słowem: niepowodzenie (failure). Daremne były moje wysiłki. Nie wiem dzisiaj nic więcej o związku elektryczności, eteru, materji, powinowactwa chemicznego, aniżeli wiedziałem i uczyłem studentów moich w pierwszym półroczu mojej profesury!«. To były powiedziane z głębi serca, bo to na wskróś prawdziwa, prawie dziecinnie szczera natura udawać nie umiała. — Cichy tragizm życia genjalnego badacza, życia wypełnionego jedną, wielką, nigdy nie zaspokojoną żądzą: żądzą Prawdy!









47
15
tom III
1128

Odbitka z „Wiadomości Matematycznych“. Tom XV.

47
LIII

M. SMOLUCHOWSKI.

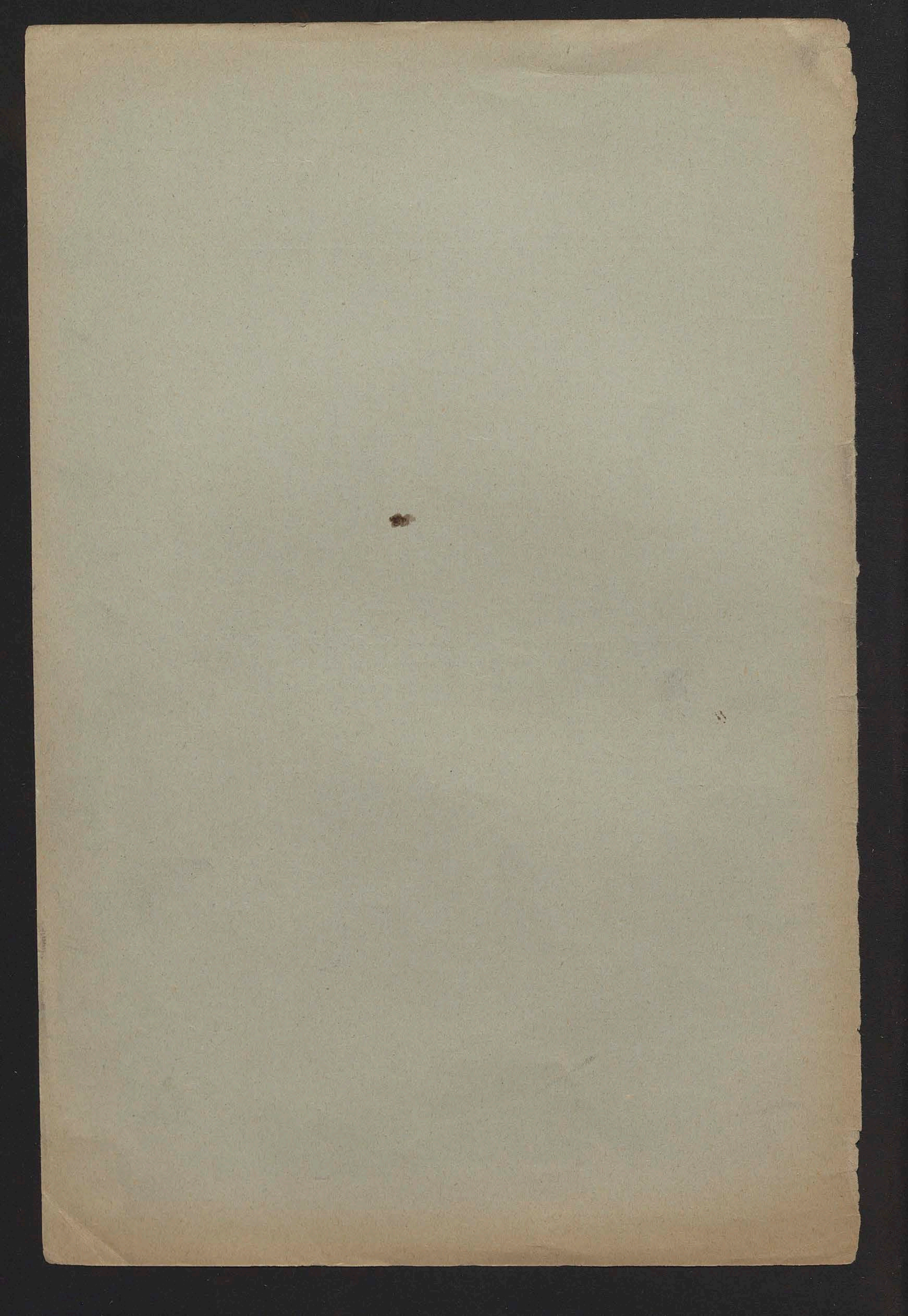
Ewolucya teoryi atomistycznej.

Rzecz czytana na publicznem posiedzeniu Akademii Umiejętności w Krakowie
w dniu 20 maja 1911 r.

S. 11-30
№ 2

WARSZAWA.
Druk Rubieszewskiego i Wrotnowskiego, Włodzimierska 3/5.

1911.



Rzecz czytana na posiedzeniu publicznem Polskiej Akademji Umiejętności w dniu 20-ym maja 1911 r. – Rocznik Akademji Umiejętności w Krakowie, rok 1910–11, str. 131–154. – Wiadomości Matematyczne, tom XV, str. 201–216. 1911.

16

M. SMOLUCHOWSKI.

II. Ewolucya teoryi atomistycznej.

Rzecz czytana na publicznem posiedzeniu Akademii Umiejętności w Krakowie w dniu 20 maja 1911 r.[1]

Chcąc skreślić obraz ewolucyi atomistyki, spotykamy się odrazu z wielką trudnością: odkąd datować tę ewolucyę, co uważać za narodziny teoryi atomistycznej, kogo czcić jako jej twórcę? Utarty zwyczaj każe nam hołd oddawać starogreckim filozofom, zwłaszcza Leukippowi, od którego pochodzi nazwa atomu, oraz Demokrytowi z Abdery (koło 400 przed Chr.), figurującemu w naszych podręcznikach jako właściwy ojciec atomistyki.

Znawcy literatury indyjskiej pouczają nas jednak, że już staro-indyjski filozof Kanada wymyślił system filozoficzny Vaiseshika, twierdzący, że wszystko: ziemia, woda i ogień, a nawet czas, przestrzeń, rozum składają się z atomów (nazwanych ansu); więc może nawet system greckich filozofów był tylko oddźwiękiem owej nauki indyjskiej. Kto wie, czy nie istnieli jeszcze poprzednicy owych mędrców, o których nawet słuch zaginął?

Czy w tem wszystkiem jednak chodzi o atomistykę w znaczeniu teoryi naukowej? Przyrodnik dzisiejszy mało znajdzie pożytku w studyowaniu atomistyki greckiej. Dziś nauki ścisłe stwarzają teorye i hypotezy, chcąc wytłómaczyć prawa przyrody doświadczalnie poznane, chcąc umo-

[1]) Rocznik Akademii Um. Kraków, 1911.

wić nam objęcie umysłem ich zawiłych związków. Owi mędrcy natomiast nie zadawali sobie wcale pracy przedwstępnej, t. j. ścisłego badania praw przyrody; dziwnym nam się dzisiaj wydaje brak zmysłu obserwacyjnego, nawet np. u Arystotelesa. Z wyjątkiem chyba dziedziny Astronomji, zakres ich wiadomości nie wychodził poza naiwne, często zawodne, doświadczenia najzwyklejszego życia codziennego. Nie znając zaś przedmiotu, który miał być wyjaśniony, nie mogli tworzyć teorji naukowej, tak jak nie można prowadzić wojny, nie wiedząc, kto jest nieprzyjacielem.

To też Fizyka dzisiejsza lekceważy ową Atomistykę grecką, uważając ją za bezcelowe fantastyczne spekulacje, nie dowiedzione niczem i nie tłómaczące niczego, stojące mało co wyżej od indyjskich i perskich systemów teozoficznych lub od mitologicznych baśni ludów germańskich. Ciekawe są one z pewnością z punktu widzenia filozoficznego i historycznego, mogą objaśnić psychologicznie kiełkowanie poglądów czy wierzeń atomistycznych, ale nie są to teorye naukowe, albowiem nie można przyznać tej nazwy fantastycznym twierdzeniom, podanym bez żadnego uzasadnienia faktycznego.

Pod tym względem i dwadzieścia następnych wieków nie zaznaczyło się żadnym postępem, a nawet w pracach Gassendi'ego, Boyle'a, Daniela Bernoulli'ego odnajdujemy ledwie ślady racyonalnego i dzisiejszej metodzie naukowej odpowiadającego uzasadnienia.

Ze stadyum fantastycznej spekulacyi przeszła Atomistyka w stadyum ścisłej teoryi naukowej właściwie dopiero w wieku XIX, kiedy anglik Dalton w 1805 r. proste liczbowe prawidła, zauważone przy powstawaniu związków chemicznych, wytłómaczył łączeniem się niezmiennych atomów w pewne grupy, molekuły czyli drobiny, które od czasu Berzeliusa 1820 r. wyrażamy znanemi formułami chemicznemi, zaś kiedy włoch Avogadro w 1811 r. z przemian chemicznych gazów wywnioskował, że takich drobin w danej objętości wszystkie gazy zawierają jednakowe liczby (naturalnie w jednakowych warunkach temperatury i ciśnienia). Dziś, nawiasem mówiąc, znamy tę liczbę, wynosi ona w zwykłych warunkach około trzydziestu trylionów drobin na centymetr sześcienny gazu.

Z Chemji przeszczepiona do Fizyki, teorja atomistyczna dopiero wtedy rozkwitła prawdziwie, gdy przekonanie utorowało sobie drogę, że ciepło polega na ruchu owych drobin i atomów i gdy z tego punktu widzenia nauczono się rozumieć naczelną zasadę fizyki nowoczesnej: zasadę

Żywa pagina,

zachowania energii. Odtąd założenie o atomistycznej budowie materyi jest złączone nierozerwalnie z przypuszczeniem bezustannego ruchu cząstek składowych, odtąd Atomistyka w Fizyce jest teoryą atomów ruchomych, jest teoryą kinetyczną.

Wiadomo, że Clausius, Maxwell i inni zdołali na tych podstawach nie tylko wytłómaczyć empirycznie poznane właściwości gazów, wyprowadzić prawidła matematyczne, dotyczące ich ściśliwości, rozszerzalności cieplnej, przewodnictwa cieplnego, lepkości, dyfuzyi i t. p., ale że zdołali nawet przepowiedzieć na podstawie rachunku teoretycznego cały szereg zjawisk, które dopiero a posteriori doświadczalnie sprawdzono.

Takim tryumfem teoryi kinetycznej było np. stwierdzenie faktu, że lepkość gazu nie zależy wcale od jego stopnia rozrzedzenia, oraz określenie ciepła właściwego pary rtęci, jako gazu jednoatomowego. Tak w 80 lat po Daltonie teorya atomistyczno-kinetyczna zdawała się jak najsilniej ugruntowana, jako jedyna bez rywalki teorya, tłómacząca w prosty sposób szeroki zakres zjawisk fizycznych i chemicznych; a rozpoczęła nawet nową fazę rozwoju, wyjaśniając właściwości cieczy, jak to przedtem uczyniła dla gazów, gdy przeciwko niej podniosła się fala reakcyi.

Jakież były motywy opozycyi przeciwko Atomistyce? Wynikły one po części z ogólnych poglądów filozoficznych, po części z konkretnych rozumowań naukowych. Przyznać trzeba przedewszystkiem, iż nie jest to jeszcze dowodem prawdziwości jakiejś hypotezy, że ona tłómaczy szereg faktów; bo może dałoby się znaleść jeszcze inne wytłómaczenie. Mach i Ostwald sprzeciwiali się wogóle wprowadzeniu do Fizyki hypotez, nie dających się udowodnić, jak hypotezy o istnieniu atomów. Widzieć tak małych ciałek oczywiście nie możemy, tem mniej ruchów ich dostrzedz nie można. Nauka powinna być ścisła, powiadali, wyrzućmy zatem z niej wszystko, co jest problematyczne, co trąci metafizyką lub antropomorfizmem, oczyszczajmy ją od hypotez.

Mach nazywa Atomistykę hypotezą naiwną, dziecinną, a co najmniej zbyteczną. Ostwald, potępiając wszelkie pokusy stworzenia obrazu czy modelu przyrody, głosi ideał „einer hypothesenfreien Wissenschaft". Dokonał on istotnie niemałej sztuki w swym podręczniku Chemii, wykładając zarys Chemii nowoczesnej bez używania pojęcia atomu lub drobiny. Co prawda, książka ta sprawia wrażenie bardzo sztucznie prowadzonej konwersacyi, w której umyślnie unika się pewnych, za „shocking" uważanych słów, które ogromnie uprościłyby i ułatwiłyby całą dyskusyę, gdyby ich wolno było używać.

17

obliczenie

pewnej

cząsteczki

co gorsza, unikając tak starannie wszystkiego, co jest związane z hypotezą atomistyczną, Ostwald nie spostrzega, ile on sam hypotez wprowadza, tłómacząc wszystkie zjawiska chemiczne i fizyczne jako objawy pewnych energij, którym przypisuje byt realny. To jest szczegół charakterystyczny i równocześnie odpowiedź na owe zarzuty. Bo czyż można się obejść bez hypotez w życiu codziennem czy w nauce? Hypotezą nawet jest to, że jutro znów będzie nowy wschód słońca; tak samo twierdzenie, że my wszyscy kiedyś umrzemy. A tak samo w nauce: ani kroku zrobić nie można bez oparcia się o hypotezy. Hypotezy i teorye, nawet takie, w których objektywną rzeczywistość wcale nie wierzymy z jakiegobądź powodu, są doniosłym postępem, jeżeli ułatwiają nam objęcie myślowe szeregu zjawisk i jeżeli doprowadzają nas do nowych faktów, jak właśnie Atomistyka.

Z drugiej strony odzywały się wówczas też na nowo pewne zarzuty, od dawien dawna podnoszone przez niektórych filozofów [patrz np.: Stallo (Begriffe u. Theorien d. modernen Physik)]. Czy teorya atomistyczna nie polega właściwie na tem, co nazywamy „tłómaczeniem w kółko“? Wszak bezwładność materyi sprowadzamy do bezwładności atomów, sprężystość ciała uważamy za skutek spotkań sprężystych atomów, wogóle, jak Lord Kelvin (z pewną może przesadą) powiedział: „Atomistyką nie wytłómaczymy żadnej właściwości materyi, w którą poprzednio już atomów nie ubierzemy“. Więc nie jest że to t. zw. circulus? Zarzut ten był może słuszny wobec spekulacyj mędrców greckich, ale nie wobec Atomistyki współczesnej; jej celem nie jest wcale wytłómaczenie istoty masy, istoty siły i t. d., tylko wytłómaczenie formy matematycznej prawideł natury. Chodzi o to, że sprężystość gazów właśnie stosuje się do prawa Boyle-Charles'a czy Van der Waalsa, a nie do innej formuły pomyśleć się dającej. Tak malarzowi skład chemiczny farb używanych jest obojętny, a chodzi tylko o oddanie za ich pomocą barw i kształtów przedmiotów widzianych.

Owe zarzuty zatem polegają właściwie tylko na nieporozumieniu co do zadania i celu teoryj fizycznych. Wiele poważniejszy od nich jest jednak zarzut podniesiony ze strony Fizyki matematycznej, dążący w samo sedno, w zasadnicze pojęcia Atomistyki, który, gdyby się okazał słuszny, musiałby obalić całą tę teoryę. Chodzi o to: pomijając wszystkie kwestye specyalne co do własności atomów, odnajdujemy jedną zasadniczą myśl, wspólną wszystkim jakkolwiek skonstruowanym nowoczesnym teoryom

atomistycznym: że prawa przyrody uważamy za rezultat tego, co się dzieje z pojedynczemi atomami, więc za wynik niezmiernie wielkiej liczby zdarzeń indywidualnych, z których każde podlega wpływom przypadkowym, ale które w całości swej ujawniają pewne prawidłowości.

Metoda rozumowania jest zatem ta sama, jak w naukach społecznych: metoda statystyki, związana z pojęciem prawdopodobieństwa. Tak samo jak socyolog obliczający przyrost liczby ludności, jak matematyk zajęty w towarzystwie asekuracyjnem, jak bankier domu gry w Monte Carlo, fizyk-atomista opiera swe kalkulacye na ocenie prawdopodobieństwa.

Ale jeżeli to wszystko jest słuszne, jeżeli właściwości ciał materyalnych są istotnie wynikiem t. zw. prawa wielkich liczb, to przecież, oprócz zdarzeń zwykłych, prawdopodobnych, muszą się także przytrafiać przypadki wyjątkowe, mniej prawdopodobne, a nawet najnieprawdopodobniejsze, w tak samo jak zdarza się czasem, że ktoś wbrew tablicom śmiertelności dożyje wieku wyjątkowego, albo też graczowi hazardowemu sprzyja wyjątkowe szczęście.

Otóż gdzie są w Fizyce przykłady dowodzące zrządzenia ślepego losu, takie zboczenia od normalnego, przeciętnego przebiegu rzeczy?

Rozważmy przykład specyalny. Powiadamy, że ciepło polega na przypadkowych, nieregularnych ruchach drobin. Jeżeli to prawda, jeżeli są przypadkowe, to przypadek też zrządzić może, że wszystkie drobiny ciała ciepłego skierują swe prędkości w tę samą stronę, to znaczy, że owo ciało samodzielnie się poruszy z miejsca, wskutek wewnętrznego swego ruchu cieplnego.

Czy widziano kiedykolwiek coś podobnego? Wszak to byłaby jaskrawa sprzeczność z empirycznie stwierdzoną drugą zasadą termodynamiki, wykluczającą możliwość samodzielnego przetwarzania się ciepła w energię mechaniczną. Gdyby takie zjawiska mogły się odbywać, możnaby zbudować „perpetuum mobile", dające nam bezustannie energię ruchu kosztem ciepła pobranego z otoczenia.

Podobnie też, jeżeli od przypadku zależy miejsce atomu wśród gazu wypełniającego naczynie, wówczas zaprzeczyć nie można możliwości, ażeby gaz sam z siebie cofnął się w jednę część naczynia, pozostawiając resztę pustą; a tak samo też mieszanina dwóch substancyj, powiedzmy azotu i tlenu, mogłaby automatycznie rozdzielić się na czysty azot i czysty tlen.

Zarzuty te, dające się także ująć w formę matematyczną, jako sprzeczność z zasadą wzrastania entropji, stanowiły poważną trudność dla teorji kinetycznej. Boltzmann, wielki propagator teorji kinetycznej, starał się udowodnić matematycznie, że wobec kolosalnej liczby atomów przeciętne zboczenia zjawisk od przebiegu normalnego nie będą w praktyce dostrzegalne, mimo, że będą się wydarzały; ale wybieg ten nie trafił przeciwnikom do przekonania.

Boltzmann ze smutkiem powiada w przedmowie do podręcznika teorji kinetycznej, wydanego w latach 1895—1898, że teorja kinetyczna „wyszła z mody“, a jako cel swego podręcznika podaje: uratowanie od zapomnienia tego, co już jest znane, aby nie potrzeba było tego kiedyś drugi raz na nowo odkrywać.

Jakże zmieniły się poglądy w ciągu następnego dziesięciolecia! Przedewszystkiem pokazało się, że to, co wówczas uważano za niemożliwe, za sprzeczne z termodynamiką, istotnie doświadczalnie może być wykazane. Nie chodzi tu o jakieś zjawiska zupełnie nowe, tylko o rzeczy dawno odkryte, które do tego czasu nie były rozumiane, a które teraz z tego punktu widzenia nauczono się pojmować.

Już w roku 1827 angielski botanik Brown zauważył, że każda mikroskopijnie drobna cząstka jakiegobądź materjału, unosząca się w cieczy, wykonywa drobne ruchy nieregularne, widoczne przy użyciu silnie powiększającego mikroskopu; sam Brown nawet już wówczas nazwał to „ruchem molekularnym“, nie motywując zresztą bliżej tego określenia. Nazwa ta pozostała, ale pogląd przez nią wyrażony później z różnych powodów porzucono; wogóle żadnych dokładniejszych badań nad tem zjawiskiem nie wykonano, mimo, że każdy przyrodnik obserwował je odtąd tysiące razy przy pracach mikroskopijnych i mimo, że później w r. 1882 Bodaszewski zwracał uwagę na podobne ruchy, wykonywane bezustannie przez drobne cząstki dymu unoszącego się w powietrzu. W grubych wielotomowych encyklopedjach i dziełach fizycznych — o ile wyszły przed rokiem 1906 — nie znajdziemy ani wzmianki o istnieniu ruchu Browna; trzeba wówczas było robić formalne poszukiwania bibljograficzne, chcąc sobie o nim wyrobić zdanie na podstawie literatury naukowej; oficjalna nauka o nim zapomniała.

Wtedy dopiero fizycy teoretycy zwrócili nań uwagę, dowodząc przy pomocy analizy matematycznej, że wszystko, co wiedziano o ruchu Browna, wielkość przesunięć, zależność ich od rozmiarów cząstek poru-

szających się oraz do rodzaju ośrodka, najzupełniej zgadzało się z tem, co na podstawie teoryi atomistyczno-kinetycznej można było przewidzieć.

Od tego czasu badania doświadczalne szeregu eksperymentatorów stwierdziły te wnioski ponad wszelką wątpliwość. Nawet zacięty przeciwnik atomistyki, Ostwald, sam w roku 1908 uznał się do niej nawróconym przez tak oczywiste dowody, jak ruchy Browna oraz pewne zjawiska, o których dalej będzie mowa: „Ich habe mich überzeugt, daß wir seit kurzer Zeit in den Besitz der experimentellen Nachweise für die diskrete oder körnige Natur der Stoffe gelangt sind, welche die Atomhypothese seit Jahrhunderten, ja Jahrtausenden vergeblich gesucht hatte“. Z chwilą kiedy przywódca szkoły energetycznej i antyatomistycznej z tak podziwu godnem zaparciem się siebie uznał słuszność sprawy, przez wiele lat namiętnie i wytrwale przez siebie zwalczanej, ucichła wszelka opozycya przeciwko teoryi, którą dziś się zajmujemy.

Konsekwencye badań nad owemi mikroskopijnie drobnemi ruchami sięgają istotnie bardzo daleko. Sprzeczność między atomistyką a termodynamiką wyjaśniła się, ale w ten sposób, że pierwsza z nich zwyciężyła, a druga uznana została za regułę tylko przybliżenie ważną, tylko w grubszych zarysach obowiązującą. Ruch Browna jest takiem „perpetuum mobile“ w bardzo małych zresztą rozmiarach, jakiego istnienie dawniej uważano za niemożliwe.

W praktyce wprawdzie wytwarzanie tym sposobem użytecznej energii, kosztem ciepła otoczenia, na razie nie posiada widoków powodzenia wobec dzisiejszych środków technicznych. Ale jeżeli coś zależy tylko od wydoskonalenia środków technicznych, to trudno się wyrzec nadziei urzeczywistnienia w przyszłości. Chodzi w tym przypadku tylko o zbudowanie przyrządu, któryby tak umiejętnie korzystał z wahania się ślepego przypadku, jak to czyni np. loterya liczbowa, przysparzająca rok rocznie państwu stałego dochodu. Przyznam się zatem, że osobiście zbudowania t. zw. perpetuum mobile („drugiego rodzaju“) wcale nie uważam za niemożliwe; a dzisiaj jest już więcej takich fizyków, których do niedawna poczytanoby za utopistów i heretyków.

Nadzwyczajnie ważną konsekwencyą jest wogóle stwierdzenie roli przypadkowości w przyrodzie. Wszak przypadkowe uderzenia drobin wytwarzają owe ruchy Browna, tak dziwacznie zygzakowate, które Gouy trafnie porównał do ruchu mrówek koło mrowiska. To samo dało się też wykazać w pewnych innych zjawiskach.

Jak już poprzednio wspominaliśmy, przypadkowe okoliczności określają miejsce, które drobina zajmuje chwilowo wśród całego zbiorowiska. Dlatego też nie można przypuścić, żeby drobiny gazu lub cieczy były rozmieszczone całkiem regularnie, równomiernie; powinny występować miejscami przypadkowe nagromadzenia, a miejscami rozrzedzenia. Wnioski, dotyczące tych przypadkowych nierównomierności, zostały stwierdzone przez Svedberga przez liczenie cząstek ultramikroskopijnych w koloidalnych roztworach.

Pojedyńczych atomów i drobin zwykłych substancyj naturalnie nanawet w nowoczesnych ultramikroskopach widzieć nie można, ale można przecież skonstatować obecność ich nagromadzeń miejscowych, na podstawie zjawiska opalescencyi, zbadanego po raz pierwszy przez Tyndalla.

Chodzi tu o zjawisko powszechnie znane, że promień światła, wpadający w ośrodek mętny, np. w wodę zaprawioną kilkoma kroplami mleka, staje się widoczny wskutek rozpraszania światła na owych mętach, podobnie jak pyłki unoszące się w powietrzu uwidoczniają drogę promienia słońca, wciskającego się przez szparę do ciemnego pokoju. Jeżeli cząstki mętów są bardzo drobne, wówczas światło to, uginane w kierunku bocznym, zawiera przedewszystkiem barwy niebieskawe, a promień przechodzący przez owo środowisko mętne posiada barwę żółtawo-czerwonawą.

Takiem mętnem środowiskiem jest np. także minerał zwany opalem. Stąd pochodzą owe delikatne zabarwienia opalu, niebieskawe i czerwonawe, stąd też pochodzi nazwa opalescencyi.

Otóż zjawisko to występuje także w gazach, w blizkości punktu krytycznego (oraz w roztworach, w t. zw. krytycznym punkcie rozpuszczalności) i dowodzi pewnej, że tak powiem, ziarnistości ośrodka, pochodzącej z owych przypadkowych zgromadzeń drobinowych, które w punkcie krytycznym szczególnie silnie muszą się uwydatnić.

W zwykłych warunkach gazy okazują także zjawisko opalescencyi, choć w stopniu znacznie słabszym, tak że staje się ono widoczne dopiero w bardzo grubych warstwach. Jednak każdy z nas obserwował je niezliczoną liczbę razy, gdy podziwiał błękit nieba lub żar wschodzącego słońca. Gdyby powietrze było środowiskiem zupełnie przezroczystem i jednorodnem, niebo także za dnia musiałoby być czarne, i tylko temu, że jest ono do pewnego stopnia ośrodkiem mętnym, zawdzięcza niebo swoją jasność i błękitną barwę.

[illegible] to są [illegible] męty w atmosferze, które uginają światło? Lord Rayleigh, któremu zawdzięczamy podstawowe badania w tej dziedzinie, sądził początkowo, że chodzi tu o ciałka obce, pyłki, kropelki mgły i t. p., ale z czasem zmienił swe zdanie; dzisiaj przekonywamy się, że owe ciałka są tylko czynnikami ubocznemi i że nawet powietrze zupełnie czyste okazuje takie samo zjawisko. Co do kwestyi, czy przypisać je należy samym pojedyńczym drobinom powietrza, czy też wspomnianym nagromadzeniom, czy może elektronom zawartym w atomach, co do tego panują jeszcze pewne różnice zdań między różnymi uczonymi, którzy tym przedmiotem się zajmowali, jak Natanson, Langevin, Einstein, ale co do ogólnego znaczenia samego faktu niema żadnej wątpliwości. Błękit nieba jest dla każdego, kto umie czytać w księdze przyrody, oczywistym dowodem słuszności atomistyki, gdyż dowodzi on, że powietrze posiada strukturę ziarnistą.

Wspomnę o jednem jeszcze zjawisku, w którem rola przypadku wybitnie występuje z zakresu promieniotwórczości. Mam na myśli owe nieregularne, drobne zresztą wahania prądu elektrycznego, wzbudzanego w powietrzu przez obecność ciał promieniotwórczych (np. polonu), których istnienie pierwszy Schweidler w r. 1905 na podstawie obecnych naszych poglądów na promieniotwórczość przewidział a Kohlrausch następnie doświadczalnie wykazał. Pochodzą one stąd, że wskutek przypadkowych okoliczności chwilowo nieco większa liczba atomów ciała promieniotwórczego, chwilowo znów mniejsza, podlega rozkładowi, połączonemu z wysyłaniem promieni.

Wszak takie same wahania występują i w statystycznych zjawiskach codziennego życia; np. z ludności Galicyi codziennie umiera przeciętnie 440 osób; ale będą oczywiście i takie dni, gdzie liczba wypadków śmierci będzie nieco większa, może 450, albo też mniejsza, może 430. Słuszność tej interpretacyi została prawie namacalnie udowodniona przez przepiękne doświadczenia Rutherforda i Regenera, które umożliwiły bezpośrednie liczenie cząstek α, wysyłanych przez ciała promieniotwórcze.

Z wszystkiego tego wypływa następujący wniosek: kiedykolwiek obserwujemy zjawisko, w którem można wyróżnić wpływ pojedyńczych drobin lub atomów, albo niezbyt licznych ich gron, zauważymy w niem zawsze przypadkowe nieregularności. Bezwzględna, ścisła prawidłowość

zjawisk przyrody jest tylko pozorem, jest tylko statystycznym wynikiem prawa wielkich liczb. Stosuje się to przedewszystkiem do Termodynamiki, ale niewątpliwie z czasem niejedno jeszcze inne prawo Fizyki ulegnie temu samemu losowi. Zasadniczą metodą rozumowania w naukach ścisłych stanie się Rachunek prawdopodobieństwa, mimo że podstawowe pojęcia tej gałęzi Matematyki, jak np. pojęcie przypadku, do dziś dnia nie są jeszcze wyjaśnione zupełnie zadawalająco. Wobec perspektywy tych komplikacyj odczujemy tem żywiej bolesną skargę Fouriera: że przyroda tak zupełnie obojętna jest na trudności, które sprawia matematykom.

Mówiąc o uzasadnieniu samych podstaw teoryi atomistyczno-kinetycznej, wspomnieć trzeba jeszcze o innym rodzaju zjawisk, stanowiącym również argument zasadniczy na jej korzyść. Jeżeli materya jest ciągła, bez struktury, wtedy każda jej część będzie posiadała te same właściwości jak całość; jeżeli jednak posiada strukturę atomistyczną, jeżeli zatem właściwości jej są wynikiem oddziaływania wzajemnego wielkiej liczby atomów lub drobin, wtedy warstwy cienkie, których grubość odpowiada strefie działania jednej drobiny, muszą się zachowywać odmiennie, niż materya w całości. Podobnie np. kawał płótna odznacza się zupełnie inną rozciągliwością niż pojedyncze włókno, piasek w worku jest sypki, podatny, podczas gdy pojedyncze ziarno jest twarde, niepodatne.

Która z tych dwóch alternatyw zachodzi, o tem stosunkowo łatwo można się przekonać w przypadku gazów, gdyż w gazach drobiny znajdują się w stosunkowo znaczniejszych odstępach i wskutek tego ruchy ich są pokaźniejsze. Sferą działania każdej drobiny jest nie tylko to miejsce, które ona faktycznie zajmuje w danej chwili, lecz miejsce dokąd sięga bezpośredni wpływ jej ruchów, t. zw. swobodna droga drobinowa; tak samo jak sferą działania zręcznego tennisisty jest nie tylko przestrzeń zajęta przez jego ciało, lecz obręb jego ruchów i skoków. Ten odstęp, określający obręb ruchów drobiny, wynosi w powietrzu w zwykłych warunkach $^1/_{10000}$ milimetra, ale wzrasta w miarę rozrzedzenia powietrza, tak, że w powietrzu rozrzedzonem staje się wygodnie dostępnem dla bezpośrednich doświadczeń.

Cóż było rezultatem tych doświadczeń? Wykazały one prawie namacalnie słuszność teoryi kinetycznej, gdyż w tak cienkich warstwach gazu zjawiska lepkości, przewodnictwa cieplnego, a nawet prężności gazowej przebiegają istotnie w całkiem odmienny sposób niż w grubych war-

stwach gazu, i to w sposób także ilościowo najdokładniej zgodny z przewidywaniem teoretycznem [1]).

Dotychczas omawiałem obszerniej te badania ostatnich kilkunastu lat, które stanowią bezpośrednie umocnienie samych podstaw teoryi o atomistycznym składzie materyi i odparcie zarzutów przeciwko niej podnoszonych. Może jeszcze więcej jednak przyczyniły się do powszechnego jej uznania w ostatnich czasach postępy na innem polu Fizyki, które pociągnęły za sobą olbrzymie rozszerzenie zakresu Atomistyki i w następstwie głęboko idące w niej przemiany.

Wiadomo mianowicie, że dziś na całej linii zwyciężył pogląd, że elektryczność nie jest także fluidum ciągłem, jak dawniej mniemano, lecz że posiada strukturę atomistyczną, że jest złożona z jakichś cząstek elementarnych, zwanych elektronami. Pogląd ten, początkowo nieśmiało wygłaszany przez Crookesa, Helmholtza, J. J. Thomsona, Lorentza, jako hypoteza najzupełniej przeciwna ówczesnym tradycyjnym zapatrywaniom, okazał się do tego stopnia zwycięskim w tłomaczeniu nowo odkrytych zjawisk promieniotwórczości, zjawiska Zeemana i t. p., a równocześnie tak świetnie wyjaśniał różne problematy dawniejsze nauki, że w ciągu kilku lat (1896—1902) został niemal jednogłośnie przyjęty.

Chcąc podać powody i dowody, trzebaby przedstawić niemal cały dorobek naukowy ostatnich kilkunastu lat, tak wszystko wiąże się na tej podstawie w jednę całość logiczną. Rozwój nauki w takich chwilach przypomina ową zabawkę dziecinną, polegającą na składaniu deszczułek powycinanych w rozmaite figury z obrazkami naklejonemi. Długo trzeba próbować, aż się znajdzie kilka kawałków do siebie należących, ale gdy raz początek jest zrobiony, dalsze deszczułki niejako automatycznie do nich się dołączają; to jest cechą charakterystyczną dobrej teoryi naukowej, że ona odrazu w nowem świetle przedstawia szereg pozornie różnorodnych zjawisk, wykazując ich prostą wewnętrzną łączność.

Szczegół dla naszego tematu najdonioślejszy jest ten, że różne drogi argumentacyi zniewalają nas zgodnie do przyjęcia, iż cząstki ujemnej elektryczności, krótko mówiąc elektrony, posiadają masę tysiąc razy

---

[1]) Wypowiedziałem kiedyś twierdzenie, że także prawa dyfuzyi muszą być odmienne w tak cienkich warstwach, a wydaje mi się to pewne, że dotychczas jeszcze nie zająłem się sprawdzeniem doświadczalnem.

mniejszą od masy atomu wodoru i nabój elektryczny wynoszący mniej więcej $4{,}8 \cdot 10^{-10}$ jednostek elektrostatycznych. Ażeby sobie uprzytomnić małość tych atomów elektrycznych, zważmy, że przez zwykłą żarówkę musi ich przepływać co sekundę koło 10 trylionów.

Nie jest-że to zdumiewające, że jednak tak nadzwyczajnie drobne cząstki elektryczności są dostępne naszym pomiarom; że można je odosobnić i nad niemi wykonywać doświadczenia. [Wskutek takich doświadczeń przed kilkoma miesiącami właśnie teorya elektronowa przechodziła ciężkie przesilenie, gdy Ehrenhaft, mierząc naboje elektryczne drobnych cząstek metali, rozpylonych łukiem elektrycznym w powietrzu, znajdował naboje najrozmaitszych wielkości, nawet znacznie mniejsze, niż ów jakoby niepodzielny nabój elektronowy. Wydoskonalone znacznie doświadczenia Millikana oraz Regenera wykryły jednak pewne wadliwości owych pomiarów i stwierdziły dobitnie, że istnieją tylko naboje owej wielkości, lub 2, 3, 4 i t. d. razy tak duże, ale że nie istnieją wartości ułamkowe, więc elektrony występują istotnie jako jednostki niepodzielne. Wyniki Ehrenhafta były zatem błędne; uzyskano wyraźny bezpośredni dowód niepodzielności elektronów].

Rzućmy teraz okiem wstecz, na zmiany naszych poglądów na istotę atomu, spowodowane przez wszystkie odkrycia, które właśnie omawialiśmy. Bodaj czy nie jedyną cechą charakterystyczną dawnej atomistyki, która do dziś dnia przetrwała, nie wywoławszy nawet dotychczas gruntownej dyskusyi co do swego uzasadnienia, jest pogląd, że wszystkie atomy pierwiastka chemicznego są sobie najzupełniej równe, że są według wyrażenia Herschela: „jakby towarem fabrycznie sporządzonym“.

A jaki to jest towar? Dawniejsi fizycy, jak Clausius, wyobrażali sobie atomy czy drobiny jako ziarna materyi, jako niezmienne ciałka twarde w rodzaju kul bilardowych; i dziś jeszcze z poglądem takim co chwila się spotykamy, zwłaszcza w dziedzinie chemii. Niektórzy nie tylko obliczają objętności tych atomów, ale wnioskują stąd też o gęstości ich substancyi. Dochodzi się przytem jednak do tej sprzeczności, iż zależnie od temperatury i innych okoliczności wynikają wartości różne, jak gdyby objętość tych ziarn była zmienna.

Dlatego też dawno już, bo w roku 1866, Maxwell przeciwko temu pojęciu wystąpił i po części odnawiając poglądy atomistyczne Boscovicha, jezuity, dalmatyńczyka, urodzonego 1711 r. w Raguzie, wygłosił hypotezę, że drobiny raczej uważać należy za punkty materyalne

bez rozciągłości, działające na siebie siłami odpychającemi przy zbytniem zbliżeniu. Dzisiaj mamy dowody zupełnie oczywiste, że atomy nie mogą być twardemi ziarnkami materyi; wszak t. zw. promienie katodowe, a zwłaszcza promienie β, składające się z elektronów, wystrzelonych z wielką prędkością, na wskróś przez nie przenikają i tylko w nieznacznej części ulegają rozpraszaniu. Co więcej, także promienie α (są to atomy helu, zaopatrzone nabojem elektrycznym dodatnim i wystrzelone przez ciała promieniotwórcze z prędkością kilku tysięcy kilometrów na sekundę) przechodzą na wskroś przez atomy innych substancyj.

Cóż to się stało, nawiasem wspominając, z tradycyjną legendą o nieprzenikliwości materyi, jako jednej z zasadniczych jej właściwości! Nie chodzi tu bowiem o przenikanie atomów, jednych przez przestrzenie wolne między innemi (jak przy dyfuzyi), lecz o przenikanie jednych na wskroś przez drugie. Naturalnie udaje się to tylko wtedy, gdy jedne na drugie rzucimy z tak olbrzymią prędkością, jak w owych wyżej powołanych przypadkach; bo inaczej siły odpychające przeszkodzą zbytniemu zbliżeniu. W nadzwyczajnie ciekawych badaniach Geiger zdołał wykazać, że taka cząstka α, przechodząc przez jeden atom złota, odchyla się od pierwotnego kierunku przeciętnie tylko o jedną dwóchsetną część stopnia. Materya musi zatem posiadać budowę nadzwyczajnie wiotką i przezroczystą, na kształt chmury, a nieprzenikliwość jest tylko pozorem, pochodzącym od sił między cząstkami działających.

Dzisiaj porzuciliśmy także hypotezę, że atomy są punktami materyalnemi, wywierającemi pewne siły, jako zbyt prostą. Wszak atomy nie mogą być czemś jednolitem, prostem; tylko muszą posiadać jeszcze budowę wewnętrzną z jakichś części składowych złożoną; to wskazują przedewszystkiem zasadnicze fakty analizy widmowej, jak złożoność widma pierwiastków chemicznych, a to przypuszczenie stało się pewnością, gdy zjawiska promieniotwórczości dowiodły, iż atomy pewnych substancyj, jak uranu, radu, polonu, toru i t. d. z czasem samodzielnie się rozkładają, że one się rozpadają, kruszeją z czasem jak jakaś budowa chyląca się ku ruinie, a przytem okruchy odpadające to są owe cząstki naelektryzowane, stanowiące promienie α i β.

Po okruchach poznać można, z czego budowa się składa. Cóż więc naturalniejszego niż przypuścić, że to są właśnie owe cegiełki, z których atomy są wybudowane. Ale w jaki sposób ta budowa jest skonstruowana, to na razie jeszcze nie jest wyjaśnione. Trudność polega na tem, że

atom elektrycznie neutralny musi zawierać równie wiele dodatniej jak ujemnej elektryczności; a znamy obecnie wprawdzie dokładnie atomy ujemnej elektryczności, owe elektrony, których masa jest tysiączną częścią masy atomu wodoru, ale wiele bardziej zagadkowa jest istota dodatniej elektryczności, gdyż w promieniach α występuje tylko w porcyach stosunkowo dużych i nie dała się dotychczas rozdzielić na tak drobne cząstki.

Początkowo przypisywano całą bezwładność atomów elektronom ujemnym, musiano zatem przyjąć, że tysiące ich są zawarte w jednym atomie. Obecnie różne badania z zakresu promieniowania wskazują, że liczba elektronów ruchomych i udział biorących w zjawiskach optycznych jest stosunkowo mała. Więc powstaje kwestya, czy przeważna część elektronów jest we wnętrzu atomu tak sztywnie przygwożdżona, że nie wchodzi w rachubę w owych zjawiskach, czy też wogóle liczba elektronów w atomie zawartych jest mała, coby się zgadzało z wynikami badań Sir J. J. Thomsona i Crowthera nad rozpraszaniem promieni β przez materyę. W takim zaś razie bezwładność atomu musiałaby pochodzić głównie z jego elektryczności dodatniej.

Na tle tych zagadnień wyrosły nadzwyczajnie ciekawe próby skonstruowania modelu atomu, podjęte przez Thomsona i Starka. Fantastycznemi mogą się wydawać uczonym starej szkoły takie spekulacye, ale nie są one bezpłodne. Przeciwnie, każdy niemal zeszyt „Philosophical Magazine“ przynosi nam wiadomość o nowych odkryciach, tą drogą rozumowania dokonanych; to daje nam wiarę w ich wartość realną.

Z jakim entuzyazmem uprawiane są dzisiaj spekulacye atomistyczne, świadczy o tem jeszcze jeden szczegół. Wszak obecnie pierwszorzędni fizycy rozważają całkiem na seryo, czy energia nie składa się może z jakichś cząstek elementarnych. Czy w przyszłości podziwiać będziemy genialność tych twórców teoryi o istnieniu atomów energii, czy też potępiać wybryki lekkomyślnego dziwactwa, któż dzisiaj przewidzi? I w nauce, jak na wojnie, rozstrzyga o sławie nie tyle zasługa, ile powodzenie.

Gdy rozważamy tę ostatnią fazę atomistyki z ogólniejszego punktu widzenia, nasuwają się nam dwie ogólne uwagi. Po pierwsze, że tryumf atomistyki równocześnie wykazał niedorzeczność słowa „atom“ (niedziałka), albo raczej wadliwość dawniejszego pojęcia atomu, gdyż atomy chemiczne okazały się złożonemi i podzielnemi. Dlatego też zupełnie świadomie wystrzegałem się dzisiaj podania wyraźnej definicyi pojęcia atomu,

gdyż definicye dawniejsze byłyby dzisiaj całkiem nieodpowiednie. Zaznaczyć wypada tylko, że za zasadniczą myśl atomistyki uważamy dziś w fizyce hypotezę o strukturalności, o złożoności materyi lub elektryczności z części oddzielnych, a nie zastrzegamy się bynajmniej, czy te części odrębne, owe atomy, elektrony, owe „archiony“ Starka, nie są jeszcze czemś złożonem z cząstek prostszych.

Po drugie przejawia się w tej dziedzinie tendencya nowoczesna tłómaczenia zjawisk materyalnych przez zjawiska elektryczne, tendencya antymateryalistyczna, albo — może wolno mi będzie ukuć słowo — „elektrystyczna“. Podczas gdy dawniej próbowano zrozumieć zjawiska elektryczne, interpretując je jako rodzaj ukrytych ruchów eteru, dziś nawet hypotezę o istnieniu eteru zaczynają uważać za zbyteczny, przestarzały przesąd, w tem, co nazywamy właściwościami materyi, upatrują objawy zjawisk elektrycznych. Nauka ma swoje słuszne powody, któremi się kieruje, a my z czasem do tego poglądu na świat przyzwyczaimy się i będzie się nam wydawało, że to rozumiemy.

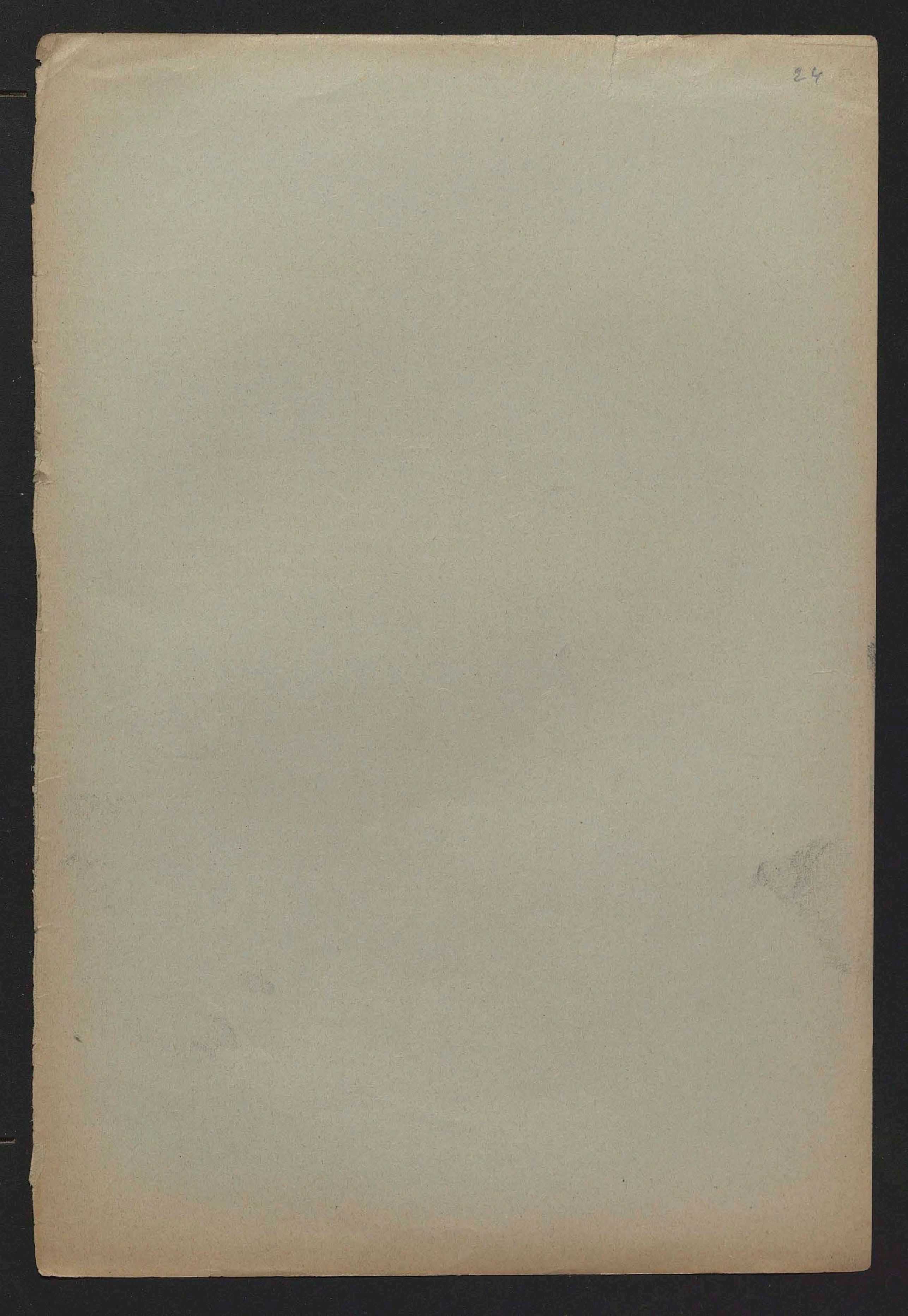
Takie przemiany, jakich fizyka w swem życiu już dużo doznała, jakkolwiek rewolucyjny mają pozór, nie są bynajmniej zburzeniem tego, co stanowi treść nauki. Kto widział kiedyś kawał drzewa skamieniałego, zrozumie to odrazu. W drzewie skamieniałem ani śladu nie ma pierwotnej substancyi drzewnej, wszystko zostało zastąpione przez krzemionkę, ale słoje drzewa, cała struktura jego, pozostała nietknięta, tak że na pierwszy rzut oka robi wrażenie zwykłego drzewa. Forma pozostała, choć treść się zmieniła. Tak samo trwała w historyi nauki jest forma praw przyrody.

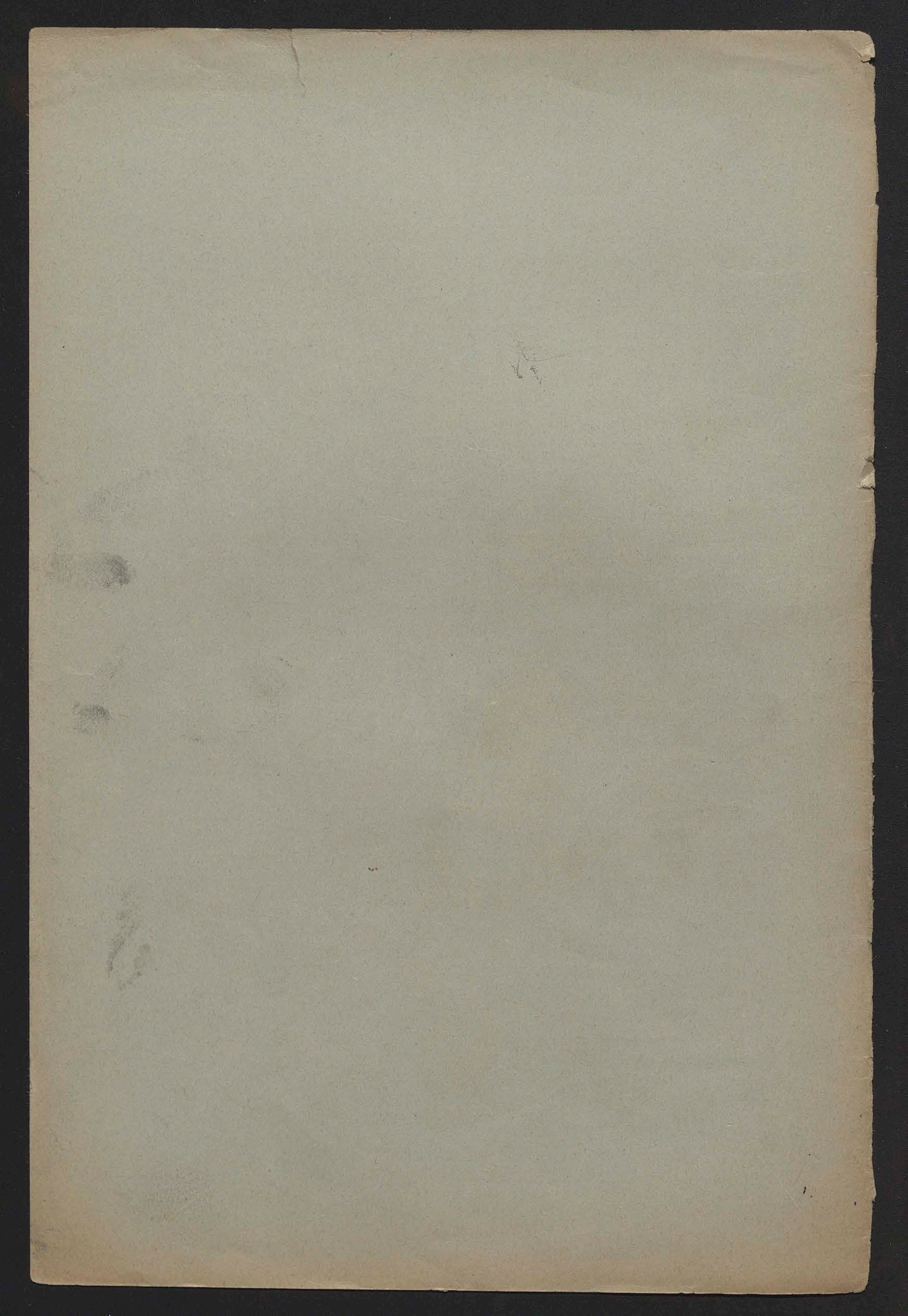
Nakoniec jednę uwagę jeszcze pozwolę sobie zrobić. Często nas fizyków pytają: wierzycie zatem naprawdę w istnienie atomów i elektronów? Jest-że to istotnie pewne, że wszystko, co widzimy, składa się z tych bezustannie poruszających się cząstek, których rozmiary i prędkości nam podajecie? Odpowiedź moją wtedy stosuję do tego, czy pyta mnie filozof, czy też ktoś inny. Filozofowi odpowiem: bynajmniej! ja tylko udaję, że sądzę, iż istnienie atomów jest pewne, bo ta hypoteza jest mi wygodna.

Istotnie dzisiaj trzeba być wielce ostrożnym, zanim się coś poda za pewne. O wszystkiem wolno wątpić. Wszak i to, że ziemia porusza się koło słońca, nie da się na pewno udowodnić, mimo Kopernika. Kto koniecznie tego pragnie, może i dzisiaj nawet wierzyć w system Ptole-

meusza, tylko musi w odpowiedni sposób zmodyfikować konsekwentnie całą obecną naukę, jak to np. Poincaré bardzo ładnie wykazuje. Nie będzie to ani łatwe ani ładne, ale może być dokonane. Co więcej, kto chce, temu wolno wątpić, czy wogóle istnieje jakieś słońce, czy istnieje rzeczywiście jakiś świat zewnętrzny! Udowodnić się to nie da; albo przynajmniej nie jestem pewny, czy ci, którzy tego dowodzą, nie mylą się. A cóż dopiero mówić o realności atomów!

Ale z niefilozofem będziemy rozmawiali całkiem inaczej. Jemu powiemy, że atomistyka należy do najpewniejszych, albo, ściśle mówiąc, do najbardziej prawdopodobnych hypotez naukowych. Istotnie, kto wierzy w to, że głos polega na falowaniu powietrza, kto wierzy w to, że ziemia krąży koło słońca, ten z niesłychanie większą jeszcze pewnością może wierzyć w podstawowe pojęcia atomistyki. I wolno nam też wierzyć w to, że fizyka, krocząc drogą dzisiaj obraną, zamieni się w logiczny system dzięki atomistyce, której podstawy niegdyś pożyczyła od chemii, a odda jej wzamian myśli konstrukcyjne, które będą kluczem do zrozumienia chaosu zjawisk chemicznych. Tym sposobem nauki ścisłe dojdą do wspaniałej syntezy, nie będącej oczywiście ostatecznym końcem dociekań, ale olbrzymim krokiem naprzód w poznaniu zjawisk przyrody.





MARYAN SMOLUCHOWSKI

ATOMISTYKA WSPÓŁCZESNA

ODCZYT WYGŁOSZONY NA OGÓL. POSIEDZENIU XI. ZJAZDU LEKARZY I PRZYRODNIKÓW W KRAKOWIE

ODBITKA Z PAMIĘTNIKA XI. ZJ. LEK. I PRZYR.

Odczyt wygłoszony na posiedzeniu ogólnem XI-go Zjazdu Lekarzy i Przyrodników Polskich w Krakowie. — Księga Pamiątkowa XI. go Zjazdu Lekarzy i Przyrodników Polskich w Krakowie, 18-22 lipca 1911; str. 129-143.

MARYAN SMOLUCHOWSKI (Lwów).

III. Atomistyka współczesna.

Chcąc dać obraz atomistyki współczesnej, trzebaby przedstawić niemal całą fizykę i chemię, a po części i mineralogię. W tak krótkim referacie wypada się zatem ograniczyć na skreśleniu kilku głównych myśli przewodnich, mogących posłużyć do uporządkowania tego olbrzymiego materyału, a tylko pobieżnie poruszać można kwestye specyalne, jakkolwiek ciekawe i ważne.

Atomistykę podzielić można przedewszystkiem na atomistykę materyi i atomistykę elektryczności (czyli „elektronikę"). Może być, że z czasem zniknie ten podział. Wszak wiadomo, że obecnie panuje dążność wytłumaczenia właściwości charakterystycznej dla materyi, t. j. bezwładności, jako objawu sił elektrycznych. Doświadczenia Kaufmanna, Bucherera i Hupki nad uginaniem promieni β dowiodły, że przynajmniej znaczna część masy materyalnej elektronów jest pochodzenia elektrycznego. Wierzymy, że masa owych elektronów nie tylko częściowo ale w całości swej jest tylko pozorną, jest wytworem sił elektrycznych. Ale sądzimy tak raczej z powodu skłonności umysłu naszego do monizmu, niż z jakichś przyczyn konkretnych; albo, wyrażając się ściślej, sądzimy tak dlatego, że obraz świata fizycznego upraszcza się nadzwyczajnie, jeżeli nie potrzeba przyjmować dwóch odrębnych rodzajów zjawisk: materyalnych i elektrycznych, tylko wszystko ostatecznie sprowadzać można do jednej substancyi zasadniczej: elektryczności. Co prawda, to i tak jeszcze daleko do jedności, gdyż obecnie w każdym razie jeszcze dwa zasadniczo różne rodzaje elektryczności przyjąć by trzeba: ujemny i dodatni. Ujemne elektrony dobrze znamy, ale wiele

mniej wiemy o dodatnich. Nie zdołano jeszcze skonstatować obecności cząstek dodatnich bez połączenia z masami atomowemi, tak że wciąż jeszcze tylko tyle powiedzieć można: że najmniejszą cząstką dodatnio elektryczną jest atom (wodoru?) pozbawiony jednego ujemnego elektronu.

Ale bez względu na te spekulacye w każdym razie stwierdzić można, że pojęcie materyi zatrzyma i nadal swoją wartość i swój obręb zastosowania, tak samo jak pojęcie światła nie stało się zbytecznem mimo teoryi elektromagnetycznej, gdyż metody badań w obu działach są tak różne, że podział atomistyki na atomistykę materyi i elektronikę pozostanie usprawiedliwiony.

Oprócz tego istnieje od kilku lat jeszcze trzeci dział, który dzisiaj jeszcze nie daje się połączyć z resztą fizyki, t. j. atomistyka energii — ale w te kwestye wchodzić nie będziemy, gdyż są one przedmiotem oddzielnego referatu.

W każdym z owych dwóch działów, w atomistyce materyalnej i w elektronice, znów rozróżnić można zjawiska związane z pojęciami atomistycznemi i dowodzące słuszności atomistyki w sposób j a k o ś c i o w y, albo też i l o ś c i o w y. Pierwszego rodzaju zjawiska są to takie, których zrozumienie wymaga przyjęcia struktury, złożoności materyi i elektryczności z oddzielnych jednostek, cząstek, ale bez względu na wymiary i liczbę tych cząstek, tak że też odwrotnie zjawiska takie nie dają klucza do wnioskowania o wymiarach lub liczbie cząsteczek składowych, podczas gdy zjawiska drugiego rodzaju zależne są od tych wielkości.

1) Do pierwszej kategoryi należą przedewszystkiem zmiany stanów skupienia, które stanowiły historycznie pierwszy argument uzasadniony za przyjęciem hipotezy atomistycznej. Że taka sama chemicznie substancya występować może w trzech różnych stanach skupienia (w tych samych warunkach temperatury i ciśnienia), trudno inaczej sobie wytłumaczyć jak przyjęciem, że jej cząsteczki składowe są niezmienne, tylko w tych trzech przypadkach znajdują się w odmiennych warunkach układu i ruchu.

Nawiasem wspominając, dzisiaj wypada nam zreformować tradycyjne rozróżnienie stanów: gazowego, ciekłego i stałego. Między gazowym a ciekłym stanem istnieje przejście ciągłe (powyżej temperatury krytycznej) i wogóle niema ró-

żnicy zasadniczej z wyjątkiem zjawisk powierzchniowych; a dalszym ciągiem tych przejść ciągłych stopniowych są ciała stałe, amorficzne, bezpostaciowe. Są to poprostu ciecze, zazwyczaj w stanie podchłodzonym, o wielkim tarciu wewnętrznem, a zatem wielkiej sprężystości postaciowej, o drobinach nieregularnie, przypadkowo rozmieszczonych. Natomiast zasadniczo różny jest stan krystaliczny, o regularnym uporządkowanym układzie drobin. Właściwie wypada nam zatem rozróżnić dwa stany skupienia: bezpostaciowy (z włączeniem cieczy i gazów) oraz stan krystaliczny, albo właściwie tyle modyfikacyj krystalicznych, ile dana substancya wytworzyć potrafi.

2) W związku z tem wymieniamy na drugim miejscu w rzędzie zjawisk pierwszej grupy naczelne prawo krystalografji: prawo wymiernych wskaźników. Prawo to, z którego Bravais, Sohncke, Schönflies i inni wyprowadzili swe teorye siatek przestrzennych, regularnych zbiorowisk punktów i t. d. byłoby niepojęte i niezrozumiałe, gdyby kryształy nie składały się z drobnych jednakowych i regularnie ustawionych cząstek składowych.

Cząstki składowe zwykle nazywa się w krystalografji drobinami (Krystallmoleküle), ale trzeba się wystrzegać łączenia błędnych pojęć z tem słowem.

Pojęcie drobiny jest ściśle określone dla stanu gazowo-ciekłego, gdyż tutaj drobiny prowadzą żywot niezależny a tylko w obrębie tego stanu mamy metody określenia ciężaru drobinowego. W ciałach stałych (a raczej krystalicznych) nie potrafimy oznaczyć ciężaru drobinowego: metody kryoskopijne dla aljażów, amalgamów i t. p. określają tylko wielkość tę dla cieczy ale nie dla ciała stałego. Zdaje się wogóle, że w tym stanie drobiny nie są jednostkami całkiem odrębnemi, wzajemnie niezależnemi, i że układ krystalograficzny wpływa wybitnie na właściwości nie tylko fizyczne, ale i chemiczne.

Czy zatem pojęcie drobiny może być przeniesione na stan skupienia stało-krystaliczny, jak w tym stanie określić to pojęcie, jak oznaczyć ciężar drobinowy, czy np. odmienne właściwości fosforu żółtego i czerwonego pochodzą z odmiennego składu drobin czy z odmiennego ich układu krystalograficznego — to są fundamentalne kwestye, na które jeszcze

nie potrafimy dać odpowiedzi wyczerpującej, gdyż wogóle wiadomości nasze w dziedzinie fizyki i chemji ciał krystalicznych są jeszcze bardzo niedostateczne.

3) Najdobitniejszy argument za atomistyką tworzą jednak zjawiska chemiczne, mianowicie zasadnicze prawo chemji — prawo wielokrotnych stosunków, dzięki któremu też Dalton stał się właściwym twórcą nowoczesnej atomistyki. Mówi się czasem, że prawo to jest dowodem atomistycznej struktury materyi. To oczywiście dosłownie biorąc nie jest słusznem, wszak Ostwald potrafił napisać podręcznik chemji bez przyjęcia atomów, więc nie może być mowy o dowodzie, o konieczności logicznej. Zdaje mi się, że wogóle właściwe „dowody" istnieją tylko w matematyce i logice, a w naukach przyrodniczych zawsze tylko można mówić o prawdopodobieństwie jakiegoś twierdzenia, o użyteczności jakiejś teoryi, choć czasem to prawdopodobieństwo może być tak wielkie, że w praktyce wolno nam prowizorycznie mówić o pewności i konieczności. Tylko w tem znaczeniu także dla krótkości będziemy używali wyrażenia „dowód".

Z prawem wielokrotnych stosunków łączą się i inne prawidła chemiczne, które również umacniają założenia teoryi o budowie atomistycznej materyi, jak np. prawidła co do liczby możliwych izomerów, jak cały zakres zjawisk objętych stereochemją. Kto jak np. Mach wobec takich zjawisk odrzuca tłómaczenie atomistyczne i ogranicza się do skonstatowania nagich faktów, popełnia podobne „sacrificium intellectus", jak ten kto odrzuca teoryę ewolucyi świata organicznego.

Dotychczas była mowa o jakościowych dowodach atomistyki materyalnej. Stąd przechodzimy odrazu do atomistyki elektrycznej zapomocą praw elektrolizy. Już Helmholtz 1881 rzucił myśl, że elektryczność może posiadać strukturę atomistyczną, ponieważ w elektrolizie każdy jednowartościowy ion jakiejkolwiek substancyi jednakowy transportuje nabój, dwuwartościowy — dwukrotny, trójwartościowy — trzykrotny itd., a nigdy obecności nabojów ułamkowych skonstatować nie można.

Wszak jest to poprostu znowu prawo wielokrotnych stosunków Daltona, tylko rozszerzone do elektryczności w formie nieco odmiennej i o tyle prostszej, że liczba n określająca wielokrotność stosunku, w jakim elektrony się wiążą

z atomami może być tylko: 1, 2, 3, 4. Większej wartościowości nie spotykamy w elektrochemji.

Podkreślam jeszcze raz wspólną cechę dotychczas omawianych zjawisk: że stanowią one jakościowe dowody atomistyki i elektroniki, ale same przez się nie dają żadnych wskazówek co do wielkości atomów. Pokazuje się to najoczywiściej w tem, że w obrębie całej klasycznej chemji nie występuje nigdzie pojęcie bezwzględnego ciężaru atomowego, tylko chodzi o względne ciężary atomowe np. względem wodoru czy tlenu. Zatem też nic nie przeszkadzałoby nam przyjąć atomy dowolnie małe, powiedzmy nawet nieskończenie małe, tak że substancja zachowywałaby się najzupełniej jak substancja jednorodna, ciągła; i byłoby to już tylko problemem sporu dla filozofów, czy przypuszczając taką quasi ciągłą substancję, składającą się z nieskończenie małych atomów w nieskończenie małych odstępach, głosimy teorję ciągłości czy teorję atomistyczną.

Ale całkiem odmiennie przedstawia się ta sprawa w świetle dowodów innego rodzaju: t. j. ilościowych, dających wskazówki wyraźne co do liczby i rozmiarów drobin, atomów, elektronów. Jako historycznie pierwsze wymienić tu wypada przedewszystkiem pewne zjawiska nieodwracalne, wobec których termodynamika jest bezsilna, podczas gdy teorja kinetyczna je wyjaśnia w nadzwyczajnie prosty sposób, przyczem na każdym kroku się okazuje słuszność jej pojęć podstawowych. Mam tu na myśli zjawiska lepkości, przewodnictwa cieplnego i dyfuzji gazów, które od czasów prac Clausiusa i Maxwella są polem popisowem dla teorji kinetycznej gazów.

Wiadomo, że cały szereg zjawisk został przepowiedziany przez teorję kinetyczną, a następnie dopiero doświadczalnie stwierdzony, jak przybliżona wielkość spółczynników przewodnictwa cieplnego i dyfuzji, niezależność spółczynników lepkości i przewodnictwa cieplnego od ciśnienia gazu, wzrost współczynnika dyfuzji proporcjonalnie do rozrzedzenia gazu. Nadzwyczaj ciekawe są owe specjalne zjawiska, które przy rozrzedzaniu gazów występują na ścianach naczynia i wogóle na powierzchniach stałych, mianowicie ślizganie się gazu przy ruchu mechanicznym i skok temperatury przy przewodnictwie ciepła.

Przy wielkich rozrzedzeniach wreszcie (t. zn. jeżeli droga swobodna drobin jest duża w porównaniu z rozmiarami naczynia) gaz zachowuje się w sposób zupełnie odmienny niż w zwykłych warunkach: na miejsce prawa Poiseuille'a określającego przepływ gazu przez rurkę włoskowatą przechodzi prawo zbliżone do Bunsena prawa o efuzyi gazu, tak że objętości gazów przepływających nie zależą wcale od lepkości, tylko są odwrotnie proporcyonalne do pierwiastka z ich gęstości, dalej, że w mieszaninie gazów każdy składnik się porusza ze swoją właściwą prędkością, całkiem niezależnie od innych. Ilość ciepła prowadzonego przez warstwę takiego gazu nie zależy wcale od grubości warstwy, a jest proporcyonalna do jego ciśnienia. Najdziwniejsze jednak to, że w naczyniu, którego części różną posiadają temperaturę, ciśnienia przez gaz wywierane na ściany są nierówne, że w miejscach cieplejszych są większe, w stosunku pierwiastka z temperatury bezwzględnej, niż w miejscach chłodniejszych. Wiemy obecnie, że na tych zjawiskach, dopiero w ostatnich latach bliżej poznanych, polega znany radyometr Crookesa, a odmienną udoskonaloną formę takich przyrządów wprowadził niedawno duńczyk Knudsen jako t. zw. manometr bezwzględny celem mierzenia prężności bardzo rozrzedzonych gazów.

Wszystkie te zjawiska wynikają jako proste, naturalne konsekwencye z podstawowych pojęć teoryi kinetycznej, a w podobny sposób znów mechanizm nieodwracalnych zjawisk elektrycznych tłumaczy się na podstawie elektroniki. Chodzi tu przedewszystkiem o przewodzenie elektryczności. Od czasów Hittorfa, Arrheniusa i Kohlrauscha rozumiemy mechanizm przewodzenia elektrolitów, a badania szeregu nowszych badaczy, zwłaszcza J. J. Thomsona i jego uczniów wyjaśniły w ogólnych zarysach owe zawiłe zjawiska przewodzenia elektryczności w gazach, które od czasów Faradaya uchodziły za jedną z najciekawszych zagadek fizyki. Wspomnę jeszcze o teoryi przewodnictwa metalicznego, o wytłumaczeniu prawa Wiedemanna-Franza, wreszcie przypomnę nowsze badania teoretyczne nad dyspersyą i absorpcyą światła, nad optycznemi właściwościami metali, w wszędzie się okazała płodność teoryi elektronowej, wszędzie dzisiejszy postęp polega na eksploatacyi myśli przez nią rzuconych.

Jest to rzecz charakterystyczna, że te zjawiska nieodwra-

calne są ściśle związane z liczbą drobin, atomów, elektronów. Na tej podstawie Loschmidt pierwszy zdołał określić rząd wielkości liczby drobin ze zjawisk dyfuzyi, tak samo też można oznaczyć przybliżone rozmiary ionów z przewodnictwa elektrycznego, a liczbę elektronów dyspersyjnych ze zjawisk dyspersyi światła.

Przejdźmy obecnie do zjawisk odwracalnych, czyli do stanów równowagi termodynamicznej. Na tem polu dokonała teorya znacznych postępów w ostatnich latach. Poznano bowiem, że zjawiska te objawiają się nam odmiennie, jeżeli się nań zapatrujemy ze stanowiska makroskopijnego, a odmiennie z punktu widzenia mikroskopijnego. Przebieg makroskopijnych zjawisk odwracalnych jest zgodny z drugą zasadą termodynamiki i zjawiska te dają się zatem równie dobrze wytłumaczyć sposobem kinetyczno-atomistycznym jak powołaniem się na zasady termodynamiki; nie dają one nam żadnego sposobu określenia struktury materyi, liczby drobin itd. Przeciwnie pewne nowo zbadane zjawiska, które dla krótkości określiłem wspólną nazwą: „mikroskopijne", one sprzeciwiają się przyjętym zapatrywaniom termodynamicznym, ich obecność jest dowodem atomistyczno-drobinowej struktury i z nich wnosić można o liczbie drobin. Należą do tego przedewszystkiem ruchy Browna i opalescencya gazów i cieczy.

O tych zjawiskach wspomniałem już na Zjeździe we Lwowie w r. 1907, ale ponieważ od tego czasu na tem polu znaczne uczyniono postępy, a przedmiot wiąże się z zasadniczem zagadnieniem atomistyki czy teoryi kinetycznej, więc kilka słów pozwolę sobie jeszcze dorzucić.

Pod zasadniczem zagadnieniem teoryi kinetycznej rozumieć należy pogodzenie atomistyczno-kinetycznego poglądu na materyę ze stanowiskiem termodynamicznem, czy też rozstrzygnięcie między niemi. Od dawien dawna wiadomo, że istnieje pewna sprzeczność, wynikająca wprost z ogólnych podstaw tych teoryj; gdyż według teoryi kinetycznej możliwe byłyby także takie zjawiska, które są sprzeczne z drugą zasadą termodynamiki. Już ów słynny demon Maxwella był dowodem, że z punktu widzenia kinetyki druga zasada termodynamiki dałaby się obalić; możnaby energię mechaniczną wytwarzać kosztem ciepła pochodzącego z zimnego otoczenia, gdyby można działać dowolnie na indywidualne drobiny —

albo n. p. gdyby można skonstruować wentyl jednostronny i tak czuły, żeby się pod naciskiem jednej, czy kilku drobin otwierał. Druga zasada byłaby zatem tylko słuszna z punktu widzenia ludzkiej niezręczności, niedoskonałości naszych środków techniczych.

Co więcej, teorya kinetyczna tłumaczy wszystkie zjawiska mechaniczne, przez przyjęcie sił konserwatywnych; a prawa mechaniki sprowadzają się ostatecznie do zasady Newtona: $m \frac{d^2x}{dt^2} = X$, w której występuje różniczka czasu dt tylko w kwadracie, to znaczy, że równie dobrze można zaopatrzyć ją znakiem dodatnim, jak ujemnym; czyli, że każdy ruch konserwatywny może się odbywać nie tylko w miarę czasu postępującego, ale też równie dobrze cofającego się. Wszystkie zjawiska mechaniczne mogą zatem też przebiegać w kierunku przeciwnym do tego, w jakim chwilowo przebiegają, to znaczy: tak jak gdyby czas się cofał wstecz. A zatem druga zasada termodynamiki zostałaby odwrócona: entropia dążyłaby nie do maximum, tylko do minimum.

Zarzut ten, który istotnie odstraszał cały szereg pierwszorzędnych uczonych od teoryi kinetycznej, został do pewnego stopnia wyjaśniony przez Boltzmanna twierdzeniem, że owe zjawiska „wsteczne", niezgodne z zasadą entropii, wprawdzie są możliwe, ale są nadzwyczajnie nieprawdopodobne, tak że w praktyce ich nie dostrzegamy.

Tak samo n. p. jeżeli nasypiemy do pudełka warstwę maku czarnego, a na nią równą warstwę maku białego i jeżeli tem pudełkiem potrząsamy, to ziarnka czarne i białe się z czasem pomieszają. Możliwe by było teoretycznie także wykonanie takich ruchów, któreby ziarna czarne od białych napowrót oddzieliły, ale w praktyce zawsze tylko spostrzeżemy postępujące zmieszanie, aż mniej więcej w każdej części równie wiele będzie czarnych i białych ziarnek.

Przykład ten ilustruje zjawisko znane nam jako dyfuzya gazów, tlenu i azotu, początkowo rozdzielonych. Dyfuzya taka następuje samodzielnie i termodynamika dowodzi, że podczas niej entropia wzrasta (w związku z tem „paradox Gibbsa"). Przeciwne zdarzenie, automatyczne rozdzielenie powietrza na tlen i azot jest wykluczone według termodynamiki. Według teoryi kinetycznej jest ono możliwe, ale nadzwyczajnie nie-

prawdopodobne. Łatwo n. p. sposobem Boltzmanna udowodnić, że równomierne rozmieszczenie tlenu i azotu w jednym centymetrze kubicznym jest mniej więcej 10^{19} razy prawdopodobniejsze niż zupełne ich rozdzielenie; nic zatem dziwnego, że w praktyce obserwujemy tylko pierwszy wypadek.

Tłomaczenie Boltzmanna jest niewątpliwie słuszne, ale jeszcze sprawy nie wyczerpuje. W omówionym właśnie wypadku system drobin gazowych dążyć będzie do stanu najprawdopodobniejszego, do maximum entropji, ale łatwo wymyślić inne rodzaje systemów mechanicznych, gdzie tak nie będzie. Wyobraźmy sobie n. p. szereg punktów materyalnych nawleczonych, w jednakowych odstępach, na nitkę kauczukową. Jeżeli udzielimy punktom tym pewnych prędkości, to powstanie ruch peryodycznie się powtarzający i system nie będzie dążył do stanu wyrównanego, najprawdopodobniejszego, w którym każdy punkt by posiadał przeciętnie jednakową energję kinetyczną. Takie wypadki są zapewne tylko osobliwemi wyjątkami, liczba ich zapewne w porównaniu z normalnemi wypadkami, zgodnemi z zasadą wzrastania entropji, będzie tak mała jak mnogość liczb wymiernych w stosunku do mnogości liczb niewymiernych. Ale zawsze widać że potrzeba bliższego określenia warunków charakteryzujących owe systemy normalne, w przeciwieństwie do systemów wyjątkowych.

Boltzmann jako kinetyczną miarę entropji uważa słynną funkcję H, albo raczej ujemną jej wartość, określając ją jako logarytm prawdopodobieństwa danego układu. W poprzednio omówionym przykładzie łatwo możemy się porozumieć co do znaczenia „prawdopodobieństwa", ale jak to pojęcie ogólnie określić? Jak wogóle może być mowa o prawdopodobieństwie — zatem o przypadku — wobec zjawisk wynikłych z danych warunków początkowych pod działaniem określonych praw mechaniki?

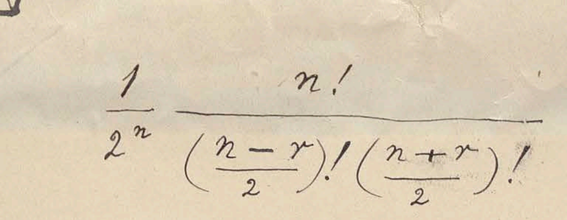
Ściślejsze ujęcie tych rozważań i usunięcie wspomnianych już trudności jest zadaniem działu fizyki, zapoczątkowanego już niegdyś przez Maxwella: mechaniki statystycznej, polegającej na badaniu prawideł, którym podlegają statystyczne mnogości systemów mechanicznych. Oprócz ostatniego dzieła Gibbsa, poświęconego temu przedmiotowi, wymienić trzeba tu zwłaszcza prace Einsteina, Jeansa, Herza, Silber-

steina, wreszcie świeżo ogłoszoną rozprawę Jana Kroò, w której znajdujemy pewne kryterya pozwalające nam w niektórych wypadkach z góry osądzić, czy system dany jest normalny, to znaczy czy dąży do wyrównania czy też nie. Do całkowitego wyjaśnienia wszelkich z tem związanych zagadnień jeszcze nam daleko, ale przecież to zdaje się rzeczą pewną, że systemy mechaniczne, takie jakie przyjmuje teorya atomistyczno-kinetyczna, muszą się w ogólnych zarysach, makroskopijnie widziane, zachowywać zgodnie z termodynamiką. Pod tym zatem względem zarzuty podnoszone przeciwko kinetyce nie są słuszne.

Całkiem odmiennie przedstawia się jednak ta sprawa, gdy śledzimy takie zjawiska sposobem mikroskopijnym. Druga zasada jest wynikiem prawdopodobieństwa, to znaczy prawa wielkich liczb, ponieważ jednak liczba drobin nie jest nieskończenie wielka, więc wciąż muszą także istnieć pewne zmienne zboczenia przypadkowe od normalnego przeciętnego toku rzeczy, i to tem większe, im mniejsza liczba drobin biorących udział w danem zjawisku. Dostrzegalne będą tu zboczenia zatem tylko, o ile śledzić potrafimy niezbyt liczne gromady; drobin stąd nazwa „mikroskopijne".

Przykład tego rodzaju jest oddawna znany: owe nierówności temperatury, określone Maxwella prawem o rozdziale prędkości; w tylko nie nadaje się on do kontroli doświadczalnej, bo nie mamy sposobu bezpośredniego mierzenia temperatury drobnych ciałek.

Do obserwacyi nadają się jednak nierównomierności ciśnienia, oraz nierównomierności gęstości lub koncentracyi. Pierwsze z nich mogą być uwidocznione ruchami, które one powodują, jak np. ruchy Browna, a drugie zjawiskiem Tyndalla: opalescencyą ośrodka, lub (jeżeli chodzi o zawiesiny cząstek ultramikroskopijnych) wprost liczeniem cząstek zawartych w danej przestrzeni (Svedberg). O ruchach Browna już tyle pisano i mówiono w ostatnich latach, że zbytecznem by było powtarzanie tych rzeczy. O zjawiskach opalescencyi gazów i cieczy, występujących wyraźnie zwłaszcza w punkcie krytycznym, obszerniej mówiłem na Zjeździe w r. 1907; obecnie tylko dodam, że teorya moja została podjęta przez Einsteina i że została uzupełniona dokładniejszem ilościowem



obliczeniem zdolności absorbującej i rozpraszającej takiego ośrodka.

Chciałbym tylko zwrócić uwagę na proste prawo matematyczne, rządzące temi przypadkowemi anomalijami. Jeżeli gramy w taką grę hazardową, że przy każdej próbie równie prawdopodobnem jest zyskanie jak stracenie jednostki, to prawdopodobieństwo zyskania albo też stracenia r jednostek w ciągu n prób wynosi: $\frac{1}{2^n}\frac{n!}{\frac{n-r}{2}!\;\frac{n+r}{2}!}$ z czego łatwo się obliczą, że prawdopodobny zysk, albo strata, przy n próbach wynosi $\sqrt{n}$, jeżeli n jest liczbą wielką.

Podobnie drobina w gazie spoczywającym równie dobrze może się poruszać na prawo jak na lewo, a w raz obranym kierunku porusza się tylko przez nader krótki przeciąg czasu, aż zderzenia z innemi drobinami zmienią jej kierunek. Każdorazowe przesunięcia dodatnie i ujemne są równie prawdopodobne, zatem średnie przesunięcie całkowite, osiągnięte po upływie czasu t musi być proporcjonalne do $\sqrt{t}$. To samo odnosi się do przesunięć cząstki zawieszonej w cieczy i wykonującej ruchy Browna.

Tak samo też rozważajmy element przestrzeni, napełniony gazem idealnym i rozdzielony na dwie połowy. Dla każdej drobiny pobyt w jednej i drugiej połowie jest równie prawdopodobny; a jeżeli w całości się znajduje r drobin, to nie rozdzielą się one dokładnie na równe części, tylko prawdopodobnie liczba w jednej części będzie o $\sqrt{r}$ większa niż w drugiej. Procentowe zgęszczenie lub rozrzedzenie jest zatem proporcjonalne do $\frac{1}{\sqrt{r}}$; więc nierówności tem silniej występują, im mniejsza liczba drobin. Tego rodzaju obserwacye dają zatem bezpośredni sposób oznaczenia tej liczby.

Analogiczne zjawiska muszą też występować w dziedzinie elektryczności. Dotychczas stwierdzono je w jednym tylko wypadku, który właściwie należy do zjawisk nieodwracalnych, tj. w wahaniach liczby cząstek β i α, wysyłanych przez ciała promieniotwórcze (badania Schweidlera, Rutherforda i Geigera). Tu wszakże z wielką precyzyą stwierdzić dała się zgodność wzoru, zupełnie analogicznie do poprzednich przykładów wyprowadzonego.

Po omówieniu jakościowych dowodów atomistyki, oraz zjawisk tłumnych, ale uwydatniających liczbę drobin czy atomów, przechodzimy wreszcie do trzeciej kategoryi zjawisk, do dowodów najoczywistszych, t. j. izolacyi i obserwacyi pojedyńczych atomów. Jeżeli chodzi o pojedyńcze drobiny materyalne, to musimy do tej kategoryi zaliczyć także owe ruchy Browna, gdyż cząstki zawiesin występują w nich zupełnie w roli dużych drobin, ale jeżeli chodzi nam o atomy, to takiemi zdobyczami dotychczas poszczycić się może tylko atomistyka elektryczności.

Dużego rozgłosu nabyły owe słynne doświadczenia Rutherforda i Geigera, oraz Regenera, w których liczono cząstki α i nabój ich; ale tu chodziło o atomy dodatnio elektryczne, poruszające się z ogromną szybkością i wskutek tego wywołujące specyalne zjawiska. Jeszcze ciekawsze są jednak doświadczenia Millikana, stanowiące ostateczne wydoskonalenie metody, wymyślonej przed kilku laty przez J. J. Thomsona i dalej opracowanej przez H. A. Wilsona, Ehrenhafta i innych, w których mierzono naboje rzędu 10^{-10} jednostek elektrostatycznych (dodatnich lub ujemnych), znajdujące się na mikroskopijnie drobnych kropelkach oliwy, w powietrzu się unoszących. Ruch takiej kropelki, dający się śledzić całemi godzinami, opadanie jej pod wpływem ciężkości, wznoszenie się wskutek zastosowania odpowiednich sił elektrycznych, umożliwia określenie jej masy oraz naboju (przy pomocy prawa Stokesa) ze zdumiewającą dokładnością. Pokazało się, że owe naboje są wprawdzie różnie wielkie, ale zawsze są dokładnemi wielokrotnościami liczby $4{\cdot}891 \,.\, 10^{-10}$, którą zatem jako ów atom elektryczny uważać musimy.

Zastanówmy się obecnie, jak z punktu widzenia tych wszystkich badań dokonanych w ostatnich latach przedstawia się kwestya liczby i rozmiarów atomów. W literaturze naukowej znajduje się kilkadziesiąt różnych t. zw. sposobów określenia rozmiarów drobinowych, gdyż tak w fizyce nazywają prawie każdy rachunek, z którego wynika coś rzędu wielkości 10^{-8} cm. Ale jeżeli szukamy racyonalnych i ścisłych metod, to zostanie się z nich bardzo niewiele.

Dopóki chodziło tylko o rząd wielkości, można było się oprzeć na tradycyjnej metodzie kinetycznej teoryi gazów, pochodzącej od Loschmidta i polegającej na obliczeniu drogi

swobodnej $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\, n \pi \delta^2}$ ze zjawisk dyfuzyi, albo lepkości lub przewodnictwa cieplnego i skombinowania jej z objętością drobin $\frac{2}{3} n \pi \delta^3$. Dziś to nam nie wystarcza; bo liczbowy wynik rachunku zależeć musi od nieznanego nam prawa sił międzydrobinowych, które wpływać muszą na długość drogi swobodnej. Także druga dana, rzeczywista objętość drobin nie da się dokładnie oznaczyć, po pierwsze iż prawo Van der Waalsa, którego tu używano, nie jest dokładnie ważne, a przedewszystkiem iż drobiny wogóle nie posiadają rzeczywistej objętości, w dawnem tego słowa znaczeniu. Przestarzały pogląd, jakoby drobiny były ziarnami kulistemi o niezmiennej wielkości, jest zupełnie sprzeczny z dzisiejszym stanem nauki i utrzymuje się tylko jeszcze dlatego, że ułatwia nam wyobraźnię, dzięki temu, że często widujemy, jak się grywa w bilard.

Tem więcej dziś porzucić trzeba metody oznaczenia liczby drobin przy pomocy współczynnika załamania optycznego, albo stałej dielektrycznej, gdyż hypoteza Clausiusa-Mosottiego o strukturze dielektryków, służąca im za podstawę, dzisiaj już tylko z historycznego punktu widzenia nas interesuje, jako zabytek naiwnych przedelektronowych czasów. Tak zatem wszystkie liczby podane np. w O. E. Meyera „Gastheorie" są bezpodstawne.

Dzisiaj mamy tylko dwie drogi do oznaczenia tych wielkości: jedną opartą na ruchach Browna i pokrewnych zjawiskach, drugą na wspomnianych poprzednio sposobach bezpośredniego określenia naboju elektronowego. Możnaby jeszcze pomyśleć o metodzie opartej na zjawiskach opalescencyi gazów, na absorpcyi światła słonecznego w atmosferze (Rayleigh) ale metoda ta podlega znacznym trudnościom doświadczalnym, a co ważniejsze także pewnym zarzutom teoretycznym, tak, że nie może obecnie konkurować ze sposobami poprzednio wymienionemi.

Według pomiarów wykonanych przez Perrina, wspólnie z Dąbrowskim i Chaudesaigues nad ruchami Browna wynikałaby $3{\cdot}17 . 10^{19}$ jako liczba drobin zawartych w centymetrze kubicznym gazu w normalnym stanie. Zdaje się, że określenie naboju elektronowego przy pomocy promieni α większym podlega błędom doświadczalnym, natomiast oznaczenie jego metodą kropelek opadających, przez Millikana, zasługuje za-

pewne dzisiaj na największe zaufanie. Łącząc jego wynik ze znanym równoważnikiem elektrolitycznym, otrzymujemy zamiast poprzednio podanej liczby wartość: $2{\cdot}67 . 10^{19}$. Porównując te dwa oznaczenia widzimy, że metoda Millikana jest bezpośredniejsza i że wynik jej jest średnią wartością wielkiej liczby oznaczeń bardzo mało się różniących między sobą; dla tego możnaby ją uważać za pewniejszą, ale nie wiadomo na razie co zarzucić owym oznaczeniom pierwszego rodzaju (opartym na ruchach Browna i na równowadze grawitacyjnej zawiesin), chyba może zbyt wielką koncentracyę używanych zawiesin (gdyż wielkość koncentracyi według badań Svedberga wybitny wywiera wpływ). Dopóki jednak te pomiary nie zostaną powtórzone przez większą liczbę badaczy, niepodobna osądzić na pewno, która z tych dwóch liczb więcej się zbliża do rzeczywistości.

Pozostaje nam do omówienia część najciekawsza, ale jeszcze najmniej dojrzała atomistyki: synteza spekulacyj atomistycznych i elektronowych, czyli badania nad strukturą, nad wewnętrzną budową atomów. Że wogóle o tych problemach dzisiaj na seryo, naukowo, można dyskutować, to jest nadzwyczajny doniosły postęp ostatnich kilkunastu lat. O wynikach pewnych, ściśle uzasadnionych dzisiaj jeszcze mowy niema; gdyż spekulacye różnych badaczy, zależnie od punktu wyjścia, całkiem odmienną przybierają postać i próby połączenia ich dotychczas pozytywnego rezultatu nie wydały.

Pewna jest jedna rzecz: że atomy muszą się składać z większej liczby oddzielnych elektronów ujemnych i równoważnego naboju dodatniego, ale liczba ich i sposób powiązania z ową zagadkową elektrycznością dodatnią są nieznane. Najsławniejsza i najwięcej szczegółowo wypracowana jest teorya J. J. Thomsona, oparta na rozważaniach co do stałości równowagi wewnętrznej struktury atomowej i co do związku z peryodycznym systemem atomistycznym, według której atomy byłyby złożone z dodatniego naboju elektrycznego, wypełniającego z jednostajną gęstością przestrzeń kulistą, oraz z elektronów ujemnych, ustawionych w jej wnętrzu w warstwach spółśrodkowych.[1]

Dawniej przypisywano całą bezwładność owym elektronom, więc sądzono, że tysiące ich muszą się składać na jeden atom; tymczasem nowsze badania Crowthera nad rozprasza-

1) [Przypominamy, że wykład niniejszy był wypowiedziany w roku 1911-ym. Przyp. Wyd.]

niem promieni β przez materyę, wraz z teoretycznemi obliczeniami Thomsona wskazywałyby, że liczba ich równa się tylko (mniej więcej) ośmiokrotnemu ciężarowi atomowemu (względem wodoru). W takim razie bezwładność swoją materya musiałaby zawdzięczać przedewszystkiem elektryczności dodatniej, to jest temu, co dotychczas jest najwięcej zagadkowem, i na co dopiero dalsze badania nad promieniami kanałowemi, w ostatnich czasach tak świetnie poprowadzone przez Thomsona, może rzucą pewne światło. Thomson pokazał, że jego teorya mogłaby także wytłómaczyć niestałość budowy atomowej, występującą w pewnych wypadkach, oraz wyrzucanie cząstek β, ale większą trudność sprawia wyjaśnienie, czemu w innych razach rozkład atomu połączony jest z wyrzucaniem cząstek α.

To zasadnicze zjawiska promieniotwórczości zaś tworzą punkt wyjścia teoryi Starka o budowie atomu z „archionów". Przeciwnie znów Rutherford, w świeżo ogłoszonej pracy, opartej na zjawiskach absorbcyi promieni α i β, wyłuszcza teoryę, że atomy są złożone z silnego naboju centralnego (napewne dodatniego) i dokoła niego w przestrzeni kulistej równomiernie rozmieszczonego naboju przeciwnego.

Nowe trudności podnoszą się, jeżeli chcemy wytłómaczyć zjawiska absorbcyi i dyspersyi światła. Z góry możnaby przypuścić, że wszystkie elektrony powinny brać udział w drganiach elektromagnetycznych; później zdawało się, że liczba elektronów odpowiadających na drgania elektromagnetyczne w gazach jest pewną niewielką wielokrotnością ciężaru atomowego. Nowsze badania jednak wykazały, że w licznych wypadkach z pewnością liczba „elektronów dyspersyjnych" jest bez porównania mniejsza niż liczba atomów, tak że na tysiące albo dziesiątki tysięcy atomów przypada tylko jeden elektron dyspersyjny.

Która z różnych dróg rozumowania tu nakreślonych się okaże najwłaściwszą, jak dojdziemy do syntezy łączącej te wszystkie części składowe w jeden całkowity obraz struktury atomu, tego dzisiaj sądzać nie możemy. Ale to nam daje wiarę powodzenia w tych usiłowaniach, że przynajmniej widzimy przed sobą drogi wiodące do postępu, a między niemi zwłaszcza badania nad rozpraszaniem promieni α i β oraz badania promieni kanałowych wydają się obiecującemi.

56 b.
56 b.
33
tom III
XLXII

Liczba i wielkość cząsteczek i atomów.

tom III
1928

NAPISAŁ

M. SMOLUCHOWSKI.

s. 45-59

№ 4.

WARSZAWA.
WYDAWNICTWO REDAKCYI
WIADOMOŚCI MATEMATYCZNYCH.

1913

Osobne odbicie z tomu XVII-go

„WIADOMOŚCI MATEMATYCZNYCH".

Drukarnia Rubieszewskiego i Wrotnowskiego w Warszawie.

M. SMOLUCHOWSKI.

Liczba i wielkość cząsteczek i atomów.*)

Fizyka nowoczesna jest nauką ścisłą: stara się ona prawa przyrody eksperymentalnie poznane ująć ilościowo w możliwie dokładną formę matematyczną i stosownie do tego tylko takie teorye fizykalne za uzasadnione uznaje, które nadają się do dokładnego liczbowego sformułowania i do skontrolowania przez dokładną zgodność matematyczną ich wyników z prawami przyrody, poznanemi ilościowo. Zatego też fizyk dzisiejszy odczuwa pewien niesmak, gdy słyszy zdanie, że filozofowie greccy Leukippos i Demokritos lub rzymianin Lukrecyusz są twórcami teoryi atomistycznej. To, co wiadomo o atomistyce starożytnych i o późniejszych jej interpretacyach, wydaje mu się fantastycznem rojeniem, albowiem nie dostrzega tam właśnie tego, co jest najistotniejszem w teoryi fizykalnej: mianowicie stwierdzenia zgodności ilościowej z formą liczbową praw przyrody. O tem wcale nie można było myśleć tak długo, dopóki fizyka posiadała tylko surowy charakter jakościowy.

Zapewne atomistyka, jako doktryna filozoficzna, sięga w przeszłość więcej niż dwa tysiące lat, ale jako ścisła teorya fizyczno-chemiczna liczy zaledwie jedno lub dwa stulecia. Wprawdzie Daniel Bernoulli (1738) wykrył w sposób genialny, że prawo Boyle'go odwrotnej proporcyonalności ciśnienia gazu do objętości przez gaz zajmowanej daje się objaśnić bardzo prosto przez przyjęcie, że gazy składają się z małych cząsteczek, poruszających się prostolinijowo; lecz poważniejsze i ogólniejsze dowody, zniewalające do przyjęcia atomistyki, znaleziono znacznie później.

*) Przekład czasopisma „Scientia" za upoważnieniem Autora.

Przedewszystkiem wymienić tu należy, oczywiście, odkrycie przez Daltona (1808) prawa podstawowego Chemii, t. j. prawa wielokrotnych stosunków w związkach chemicznych. Prawo to byłoby faktem zupełnie zagadkowym i niepojętym, gdyby cząsteczki (molekuły) związków chemicznych nie składały się z całkowitych wielokrotności rozmaitych rodzajów atomów jednorodnych. Dzięki Daltonowi stała się Atomistyka fundamentem Chemii i na tem stanowisku swem nigdy istotnie nie została zachwiana. Odtąd chemicy nie przestawali nigdy myśleć atomistycznie, nawet i wtedy, gdy przed dwoma dziesiątkami lat ujawnił się ze strony filozoficznej i fizykalnej (Mach, Ostwald) przemijający wprawdzie lecz potężny prąd przeciwny Atomistyce.

Dalsze ważniejsze poparcie przyjęciu atomistycznej struktury materyi dało odkryte w r. 1784 przez Haüy prawo podstawowe krystalografii, tak zwane prawo skaźników wymiernych, według którego parametry powierzchni kryształu są prostemi wielokrotnościami całkowitemi pewnych jednostek podstawowych. Znaczenie tego prawa poznał wszakże w całej pełni dopiero Bravais w r. 1849; dziś jeszcze fizycy poświęcają temu przedmiotowi zbyt mało uwagi, jakkolwiek stwierdza on ad oculos, że materya jest zbudowana z cząstek oddzielnych.

W dziedzinie Fizyki właściwej Atomistyka znalazła pożądane uzupełnienie i poparcie w zasadzie zachowania energii, która wyjaśniła się bezpośrednio z przyjęcia, że ciepło polega na ruchu cząsteczkowym i że ilość ciepła odpowiada energii kinetycznej tego ruchu. Na zlaniu Atomistyki z tem wyobrażeniem polega dzisiejsza teorya kinetyczno-atomistyczna, po raz pierwszy ściśle sformułowana w latach 1857—1860 w pracach Clausiusa i Maxwella i zastosowana do wyjaśnienia matematycznego prawa Boyle'go-Charles'a dla gazów.

W tem stadyum była już wtedy Atomistyka teoryą dobrze uzasadnioną, która cały szereg podstawowych praw przyrody z rozmaitych dziedzin wiedzy sprowadzała sposobem najprostszym i matematycznie dokładnym do przyjęcia, że materya składa się z cząstek oddzielnych. Lecz była jeszcze—rzec można—teoryą tylko jakościową, dopóki brakło jej najistotniejszej cechy ilościowej, mianowicie wyobrażenia o wielkości i liczbie tych cząstek.

Jest rzeczą osobliwą, że Chemja zwykła, operująca ciągle atomami, których masy względne jak najdokładniej wyznacza, których ugrupowanie w cząsteczce bada, nie daje żadnego punktu oparcia dla obliczenia bez-

względnej wielkości atomów. Dla chemika praktycznego jest rzeczą zupełnie obojętną, jak wielka jest masa atomu; przyjmuje on masę atomu wodoru za jedność, zna masy względne innych atomów w stosunku do masy atomu wodoru, i liczby te, t. zw. „ciężary atomowe“, wystarczają mu do obliczenia składu związków chemicznych i do kontrolowania wzorów chemicznych.

Fizyków zaprzątała zawsze myśl uzupełnienia teoryi atomistycznej przez wyznaczenie tych danych podstawowych, lecz zjawiska procesów termodynamicznie odwracalnych nie dawały im możności dokonania tego. Należy bowiem zauważyć, że wszystkie dotąd wspomniane zjawiska odbywałyby się w sposób całkowicie identyczny, niezależnie od wielkości bezwzględnej atomów. Przebiegałyby one np. zupełnie tak samo, gdyby atomy były dowolnie małe, nawet nieskończenie małe ale zato w liczbie nieskończonej; możnaby niejako przyjąć atomistykę, która pozornie tylko różniłaby się od teoryi ciągłości materyi.

Lecz istnieje inna klasa zjawisk, w których wielkość atomów i ich liczba odgrywa pośrednio rolę, są to mianowicie termodynamicznie nieodwracalne zjawiska dyfuzyi, przewodnictwa ciepła i tarcia wewnętrznego, których teoryę z tego stanowiska rozwinął w części Clausius, w części zaś Maxwell. Myśl, że teorya matematyczna tych procesów umożliwia obliczanie wielkości atomów lub cząsteczek, pierwszy powziął — zdaje się — fizyk wiedeński Loschmidt, który w sławnej rozprawie „Zur Grösse der Luftmoleküle“ (Sprawozdania Akademii Wiedeńskiej, 1865) bliżej myśl tę rozwinął.

Metoda obliczenia polega na przyjęciu, uważanem wówczas za oczywiste, że atomy lub — właściwie mówiąc — cząsteczki gazu zachowują się jak kule stałe sprężyste. Myśl zasadniczą Loschmidta można sobie przedstawić w sposób następujący. Jeżeli mówimy, że przestrzeń jest wypełniona powietrzem, znaczy to w rzeczy samej, że największa część tej przestrzeni jest pusta, że cząsteczki tlenu i azotu zajmują w niej istotnie tylko przestrzeń niewielką, którą wyznaczyć można przybliżenie, gdy powietrze przez ściskanie i oziębianie sprowadzimy do stanu ciekłego. Cząsteczki wtedy, według Loschmidta, są prawie w zetknięciu wzajemnem, gdy w stanie gazowym znajdowały się we względnie znacznych od siebie odległościach.

Liczbę cząsteczek możnaby łatwo wyznaczyć z objętości zgęszczenia, gdybyśmy znali ich wielkość. Tę wielkość obliczyć można z tak

zwanej średniej drogi wolnej cząsteczek w stanie gazowym, t. j. z długości dróg prostolinjowych, przebieganych przez cząsteczki gazu pomiędzy dwoma kolejnemi spotkaniami. Bardzo proste rozważanie podobieństwa geometrycznego uczy nas, że wielkość ta, przy danem wypełnieniu przestrzeni i różnych rozmiarach kul cząsteczek, musi być proporcjonalna do średnicy cząsteczki.

Z drugiej strony łatwo widzieć, w jaki sposób proces dyfuzji (jak i dwóch innych wyżej wspomnianych zjawisk), zależeć musi właśnie od wielkości dróg średnich, albowiem dyfuzja, t. j. powolne mieszanie się dwóch gazów, musi odbywać się tem szybciej, im dłuższemi są drogi przebiegane przez cząsteczki gazu pomiędzy każdemi dwoma spotkaniami. A więc wynika z powyższego, że przy danem wypełnieniu przestrzeni (i przy danej temperaturze, bo od niej zależy prędkość ruchu) dyfuzja — i podobnie przewodnictwo oraz tarcie wewnętrzne — w gazach musi odbywać się tem raźniej, im większe są cząsteczki gazowe, tem wolniej, im one są mniejsze. Do tegoż wniosku i wartości spółczynnika proporcjonalności prowadzą dokładne wzory matematyczne Clausiusa i Maxwella. Jest to zresztą rys charakterystyczny nietylko zjawisk wspomnianych, ale i innych zjawisk cząsteczkowych termodynamicznie nieodwracalnych (np. przewodnictwa elektrycznego w gazach, elektrolitów), że prędkość ich przebiegu jest związana wprost z wielkością i liczbą cząsteczek.

W ten sposób Loschmidt, kombinując dwie wielkości eksperymentalnie wyznaczone: objętość zgęszczenia i spółczynnik tarcia wewnętrznego (zamiast którego możnaby wziąć stałą dyfuzyi), wyznaczył $1 \cdot 18 . 10^{-7}$ cm. jako wielkość średnicy cząsteczki powietrza. Ponieważ cząsteczki tlenu i azotu są dwuatomowe, przeto daje to zarazem rząd wielkości ich atomów.

Obliczenie to uważano początkowo za bardzo hypotetyczne, jakkolwiek liczba otrzymana nie była wcale nieprawdopodobna, gdyż w każdym razie leży znacznie niżej granicy bezpośredniej podzielności materji, przynajmniej do dziś dnia stwierdzonej i przez środki czysto mechaniczne osiągalnej. Wykazują to np. następujące ciekawe dane. Tak np. złoto malarskie używane do złocenia wyrabia się w tak cienkich warstwach, że jest prawie przezroczyste; grubość jego wynosi wtedy 10^{-5} cm., ale według Faraday'a przy pomocy walcowania można tę grubość zmniejszyć do $5 . 10^{-7}$ cm. Najcieńsze nitki kwarcowe, wyrobione przez Boysa, miały tak małą grubość, że nawet w mikroskopie były zaledwie dostrzegalne. Istnieją praw-

dopodobnie bakterye, których wielkość spada jeszcze poniżej granicy wyraźnej widzialności w mikroskopie, t. j. poniżej 2.10^{-5} cm. We wprowadzonych od lat dziesięciu ultramikroskopach, granicę (niewyraźnej już) widzialności posunięto jeszcze niżej. Siedentopf i Zsigmondy przy pomocy ultramikroskopu stwierdzili w szkle złotem rubinowem istnienie ziarenek złotych rzędu wielkości rzędu 5.10^{-7} cm. Grubość baniek mydlanych według Drudego, Reinolda i Rückera, Johotta można zmniejszyć do granicy od 17.10^{-7} cm. do 6.10^{-7} cm.

Wszystkie te wartości graniczne bardzo dobrze godzą się z wyobrażeniem atomistycznem, jeżeli cząstki składające materye są—jak podaje Loschmidt—wielkości rzędu milionowej części milimetra. Lecz nie stanowią one wszakże właściwego stwierdzenia wyników Loschmidta, wskazują tylko, że wyniki te są dopuszczalne, bo leżą poniżej granicy danej przez doświadczenie bezpośrednie.

Granicę niższą dopuszczalnej wielkości cząsteczek dały, zdaje się, prace Lorda Kelvina (Sir Williama Thomsona), który w kilka lat po Loschmidcie zwrócił uwagę na rozmaite zjawiska, jak np. elektryzowanie przez zetknięcie i zjawiska włoskowate, które prowadziłyby do sprzeczności pomiędzy należycie ustalonemi prawami fizykalnemi, gdyby materya, dzielona na cząstki wielkości rzędu 10^{-8} cm., miała jeszcze te same własności, jak w stanie masywnym. Nie może to wszakże uchodzić właściwie za obliczenie wielkości atomów w rozumieniu poprzedniem, lecz tylko za ocenę jakościową obszaru ich działania. Byłoby nawet bardzo łatwo wyobrazić sobie ośrodek doskonale ciągły, wyposażony w siły pewnego rodzaju, podobny do ośrodka, przyjętego przez Laplace'a w jego teoryi włoskowatości, któryby w cienkich warstwach zachowywał się zupełnie inaczej niż w stanie masywnym. Z tego samego powodu podobne oceny, podane przez innych autorów, nie stanowią właściwego rozwiązania naszego zadania.

Przez długi czas myśl, wyłożona przez Loschmidta, stanowiła jedyną metodę obliczania wielkości cząsteczek; poprawiano jej stosowanie z jednej strony przy pomocy danych eksperymentalnych, odnoszących się do zjawisk związanych z długością średnią dróg cząsteczek, z drugiej zaś przez dokładniejsze obliczanie przestrzeni zajmowanej przez cząsteczki. Co do tego punktu należy przyjąć, że w cieczach cząsteczki nie wypełniają całkowicie całej przestrzeni, lecz otacza je jeszcze pewna przestrzeń wolna, w której poruszać się mogą. Jest przeto daleko właściwszem zastąpić „ob-

1) [W liście do Joule'a, ogłoszonym w Proceedings of the Literary and Philosophical Society of Manchester 1862, Lord Kelvin podał już pierwszy zarys wspomnianego rachunku; por. Popular Lectures and Addresses, Vol. I, 1889. p. 177. Przyp. wyd.]

jętość zgęszczenia" wielkość b równania stanu van der Waalsa, dającą się wyznaczyć eksperymentalnie, która to wielkość, jak to wynika z wywodu tego równania, wyraża czterokrotną objętość istotnie zajmowaną przez cząsteczki. Inne metody podali Dorn i Exner, stosując stałą dielektryczną gazów i związany z nią skaźnik załamania optycznego. Połączyli oni to z teoryą dielektryków Clausiusa i Mosotti'ego, która uważa atomy za kule będące przewodnikami elektryczności, ułożone w próżni; a która, na podstawie tej hypotezy, pozwala obliczyć spółczynnik wypełnienia przestrzeni ze stałej dielektrycznej.

Wynik tych prób udoskonalenia metody nie był ctoli całkowicie zadawalający; jakkolwiek bowiem rozmaite sposoby obliczania prowadziły do liczb podobnego rzędu wielkości, różnice wszakże były znacznie większe, niż to wypadaćby mogło z błędów doświadczenia. O. E. Meyer w znanem dziele swojem: „Über Kinetische Gastheorie" (1889) poddaje ten przedmiot wyczerpującemu rozbiorowi i oblicza według różnych metod Loschmidta, Dorna, Exnera, van der Waalsa wartości średnicy cząsteczek, które (dla wodoru n. p.) wahają się pomiędzy 3.10^{-7} a $0{\cdot}14.10^{-7}$ cm. Jeszcze bardziej niepokojąca jest różnica związanych z tem liczb cząsteczek, te bowiem (przy danej średniej długości drogi) są odwrotnie proporcyonalne do kwadratu średnic, a zatem stosownie do metody obliczenia zmieniałyby się w stosunku 1 : 400. O. E. Meyer z pomiędzy tych różnych liczb wybrał, bez należytego ctoli uzasadnienia, jako wartości najprawdopodobniejsze: $0{\cdot}2.10^{-7}$ cm na wielkość średnicy cząsteczki, $n = 6.10^{19}$ na liczbę cząsteczek, zawartych w centymetrze sześciennym gazu, które to liczby na wiarę jego powagi przyjmowano powszechnie aż do lat ostatnich.

Jak przedstawia się to pytanie z dzisiejszego stanowiska nauki? Otóż całej metodzie obliczenia Loschmidta poczyniono bardzo poważne zarzuty, które zdają się obniżają jej wyniki do bardzo grubej oceny.

Przedewszystkiem nie ulega oddawna żadnej wątpliwości, że wzory, stosowane przez O. E. Meyera i Clausiusa do obliczenia drogi średniej dyfuzyi, zostały wyprowadzone nieprawidłowo. Wprawdzie forma ich ogólna jest ścisła, ale wartość spółczynników liczbowych w niej zawartych nie jest po dziś dzień znana dokładnie. Boltzmann mianowicie wykazał jasno braki rachunków leżących u podstawy tych obliczeń, ale, pomimo wielkich wysiłków, ten znakomity teoretyk nie zdołał obliczeń

tych udoskonalić. I po dziś dzień obliczenia, w k
cząsteczki zachowują się jak kule sprężyste, nie są
a nawet najnowsze prace Langevina i Jeans
tecznie trudności.

Z drugiej strony wspomniana teo
sotti'ego zachowała tylko interes historyczny;
nie pewną, że cząsteczki i atomy nie są przewodni

Ale znacznie donioślejszym jest zarzut natur
steczki i atomy mają w ogóle objętość niezmienną?
wykli do wyobrażania ich sobie pod postacią ziar
uważają to za zupełnie oczywiste, ale fizycy dzisi
nia. Przedewszystkiem wiemy dziś, że tak zwa
mniej niepodzielnemi cząstkami jednorodnej mater
tego, jak je sobie wyobrażamy — mają skomplikow
ną; dowodzą tego niezbicie zjawiska rozpadu pr
mieniowania widmowego.

Byłoby tedy a priori zupełnie prawdopodob
której mogą zbliżać się do siebie dwa twory podo
jąca wielkość pozornie nieprzenikliwej objętości
śnienia, z którem atomy są parte ku sobie, może
nującej w układzie i t. p. Możnaby oczekiwać, ż
z większą prędkością, zbliżają się środkami swe
poruszały się ku sobie z prędkością mniejszą. I
czterdziestu Stefan doszedł do takiego wniosk
mentalnych zmiany lepkości gazów w zależności
rzające potwierdzenie znajdują wyobrażenia te w
nad pochłanianiem promieni α przez materyę; w
cząstki α, t. j. atomy helu, dodatnio naelektryz
brzymią prędkością około 20000 km na sekun
setki atomów substancyi materyalnej (np. złota),
odchylenia od swej drogi prostolinijowej.

Z tego wszystkiego zdaje się wynikać, ż
przenikliwych jąder atomowych zależy od ok
w których zostały obserwowane, że ta wielkość
tej samej substancyi, może być różna w stanie g
to hypoteza postaci kulistej jest oczywiście zup
mniej dla cząsteczek wieloatomowych na pewno n

tych udoskonalić. I po dziś dzień obliczenia, w których zakłada się, iż cząsteczki zachowują się jak kule sprężyste, nie są ściśle przeprowadzone, a nawet najnowsze prace Langevina i Jeansa nie rozstrzygają ostatecznie trudności.

Z drugiej strony wspomniana wyżej teorja Clausiusa-Mossotti'ego zachowała tylko interes historyczny; bo dziś jest rzeczą zupełnie pewną, że cząsteczki i atomy nie są przewodnikami elektryczności.

Ale znacznie donioślejszym jest zarzut natury zasadniczej. Czy cząsteczki i atomy mają w ogóle objętość niezmienną? Niespecjaliści przywykli do wyobrażania ich sobie pod postacią ziaren sztywnych i stałych, uważają to za zupełnie oczywiste, ale fizycy dzisiejsi są odmiennego zdania. Przedewszystkiem wiemy już dziś, że tak zwane atomy nie są bynajmniej niepodzielnemi cząstkami jednorodnej materji, lecz niezależnie od tego, jak je sobie wyobrażamy — mają skomplikowaną budowę wewnętrzną; dowodzą tego niezbicie zjawiska rozpadu promieniotwórczego i promieniowania widmowego.

Byłoby tedy a priori zupełnie prawdopodobnem, że granica, do której mogą zbliżać się do siebie dwa twory podobne, — granica, określająca wielkość pozornie nieprzenikliwej objętości własnej, zależy od ciśnienia, z którem atomy są parte ku sobie, może też od temperatury, panującej w układzie i t. p. Możnaby oczekiwać, że atomy, spotykające się z większą prędkością, zbliżają się środkami swemi bardziej, niż gdyby poruszały się ku sobie z prędkością mniejszą. Istotnie, już przed laty czterdziestu Stefan doszedł do takiego wniosku z pomiarów eksperymentalnych zmiany lepkości gazów w zależności od temperatury. Uderzające potwierdzenie znajdują wyobrażenia te w nowych doświadczeniach nad pochłanianiem promieni α przez materję; według tych doświadczeń cząstki α, t. j. atomy helu, dodatnio naelektryzowane i wyrzucane z olbrzymią prędkością około 20000 km, na sekundę, przenikają poprzez setki atomów substancji materyalnej (np. złota), nie doznając wyraźnego odchylenia od swej drogi prostolinijowej.

Z tego wszystkiego zdaje się wynikać, że wielkość pozornie nieprzenikliwych jąder atomowych zależy od okoliczności zewnętrznych, w których zostały obserwowane, że ta wielkość, naprzykład dla jednej i tej samej substancji, może być różna w stanie gazowym i ciekłym. Nadto hypoteza postaci kulistej jest oczywiście zupełnie dowolna i przynajmniej dla cząsteczek wieloatomowych na pewno nieuzasadniona.

Tym sposobem nietylko zasadnienie metody obliczania Loschmidta zostało zachwiane, ale okazuje się nadto, że cały problemat musi być sformułowany sposobem zupełnie odmiennym. Punktem zasadniczym atomistyki jest pytanie, dotyczące liczby atomów, zawartych w oznaczonem quantum substancyi. Jest to pojęcie jasno określone, niezależne zupełnie od pytania co do natury atomów. Dopiero znając tę liczbę, można badać, w jakiej mierze okoliczności zewnętrzne wpływają na objętość, przypadającą atomowi lub cząsteczce, i jak wielka jest ona w warunkach normalnych.

Otóż od czasów Loschmidta podano dla rozwiązania tych pytań cały szereg innych metod, przy pomocy których obliczono wielkość średnicy atomu na 10^{-7} do 10^{-8} cm. Niektóre z tych metod są bardzo interesujące i wielce pomysłowe, ale nie przynoszą one rzeczywistego postępu, gdyż najczęściej opierają się na podstawie bardziej jeszcze niepewnej, bardziej związanej z rozmaitemi hypotezami, aniżeli metoda Loschmidta; i wszystkie one podlegają przytoczonym wyżej poważnym zarzutom.

Dopiero w ostatnich kilku latach pojawiły się niektóre prace, odpowiadające wyłożonemu wyżej racyonalnemu postawieniu problematu; rzucają one zupełnie nowe światło na kwestyę i pozwalają wyznaczać bezpośrednio liczbę cząsteczek.

Przedewszystkiem należy tu wymienić niektóre metody, które można podprowadzić pod jeden wspólny punkt widzenia. Polegają one wszystkie na obserwacyi stanów równowagi termodynamicznej i odsłaniają przytem pewne anomalie, sprzeczne ze zwykłą Termodynamiką a dające się wyjaśnić na podstawie przyjęcia, że liczba cząsteczek jest skończona. Teoryę owych anomalij wyłożyli Einstein i Smoluchowski, przyczem w pewnym przypadku teorya ta styka się z dawniejszemi pracami Lorda Rayleigha; zasługa eksperymentalnego wykonania przypada głównie Perrinowi. Nie wchodząc zresztą w szczegóły, które zaprowadziłyby nas zbyt daleko, ograniczamy się do wymienienia następujących metod tego rodzaju:

1. Obserwacye ruchu cząsteczkowego Browna;
2. Zjawiska opalescencyi w gazach;
3. Rozmieszczenie cząstek emulsyi pod wpływem siły ciężkości.

Ostatnia metoda jest teoretycznie najprostsza oraz najbardziej wy-

doskonalona pod względem eksperymentalnym, o niej też pomówimy nieco szczegółowiej.

Myśl zasadnicza jej jest następująca. Gdybyśmy potrafili sfabrykować sztucznie cząsteczki o rozmiarach, wprost wymierzyć się dających, lub o masach, dających się zważyć bezpośrednio, i gdybyśmy z drugiej strony umieli wyznaczyć ich ciężar cząsteczkowy (w stosunku do atomów wodoru) według zwykłych metod chemiczno-fizycznych, to cały problemat byłby rozwiązany, albowiem posiadalibyśmy sposób obliczenia bezwzględnego ciężaru atomu wodoru, a przeto i wyznaczenia liczby atomów, zawartych w danej ilości substancyi.

W pewnej mierze jest to rzecz wykonalna. Jeżeli np. rozpuścimy w wodzie gumigutę, której się używa jako żółtej farby malarskiej, to utworzy ona emulsyę. Według teoryi kinetycznej cząstki zawieszone w cieczy, jak owe widzialne w mikroskopie ziarna gumiguty, z których składa się emulsya, powinny w pewnej mierze zachowywać się tak, jak gdyby były cząsteczkami gazu: mają tę samą energię kinetyczną i wywierają odpowiednie ciśnienie osmotyczne. Wiadomo, że już dawniej van't Hoff na podstawie doświadczeń Pfeffera wykazał, że cząsteczki ciała rozpuszczonego wywierają takie ciśnienie osmotyczne, jak gdyby tworzyły ośrodek gazowy bez względu na naturę substancyi rozpuszczającej. To samo musi zachodzić dla cząstek dowolnie wielkich, ponieważ wielkość cząstek pozostaje bez wpływu na zachodzenie tego związku.

Jeżeli przeto pozostawimy emulsyę jedynie wpływowi siły ciężkości, to cząstki zawieszone po pewnym czasie nie opadną całkowicie na dno, jak dawniej ogólnie sądzono, lecz na dnie naczynia utworzyć będą warstwę grubości skończonej, o gęstości stopniowo malejącej od dołu do góry, dającą się porównać z gazową atmosferą ziemską. Gdyż W pierwszym przypadku działanie ciężkości cząstek, w drugim ciężkość cząsteczek powietrza, która, gdyby działała sama, byłaby cząstki te ku dnu sprowadziła, zostaje skompensowana przez nieustający ruch cząsteczkowy, tak że ostatecznie wypadkowy rozkład cząsteczek jest kompromisem pomiędzy dwiema przeciwnemi dążnościami. Różnica obu przypadków jest tylko ilościowa, albowiem naturalnie bardzo wielkie stosunkowo cząstki emulsyi podlegają sile ciężkości w stopniu wyższym, niż cząsteczki powietrza. Gdy więc atmosfera ziemska dopiero na wysokości 5 600 m ma gęstość równą połowie gęstości przy poziomie morza, to według spostrzeżeń Perrina, w emulsyi gumigutowej, której ziarna miały w średnicy 0·0009 mm, licz-

ba ziaren, zawartych w pewnej danej objętości, spadała już do połowy już przy każdorazowem wzniesieniu na 0·003 mm.

Te dwie liczby 5600 m. i 0·003 mm. są miarą wysokości atmosfery powietrznej i atmosfery gumigutowej, gromadzącej się na dnie naczynia, i dają zarazem sposób wyznaczenia ciężaru względnego tych ziaren w cząsteczek gumigutowych w stosunku do cząsteczek wodoru, na zasadzie twierdzenia ogólnego, że wysokość ta dla różnych gazów musi być odwrotnie proporcyonalna do ich ciężarów cząsteczkowych. W naszym przypadku należy zresztą wprowadzić jeszcze poprawkę, gdyż ciężkość ziaren gumigutowych jest pozornie zmniejszona skutkiem parcia hydrostatycznego. Z drugiej strony łatwo obliczamy ciężar bezwzględny tych ziaren z ich rozmiarów, a stosunek tych liczb daje nam czynnik, przez który należy pomnożyć ciężar chemiczny atomowy lub cząsteczkowy, gdy chcemy otrzymać ciężar bezwzględny atomów lub cząsteczek wyrażony w gramach. Według wyników pomiarów Perrina wynosi on $\frac{1}{7.10^{23}}$, skąd odwrotnie wypływa, że np. gram wodoru zawiera 7.10^{23} atomów.

To jest liczba podstawowa, którą należało wyznaczyć. Wykonanie praktyczne pomiarów, będących podstawą tego obliczenia, wymaga przezwyciężenia pewnych trudności technicznych, jak np. otrzymania emulsyi o dokładnie równych ziarnach, dokładnego wyznaczenia ich wielkości, przeliczenia wielkiej liczby ziaren w dokładnie wymierzonym poziomie, ale to wszystko można osiągnąć stosunkowo prostemi sposobami przy pomocy kilku zręcznych pomysłów. Perrin miał tem większe zaufanie do liczby otrzymanej przez siebie i przez swoich współpracowników (Dąbrowski, Chaudesaigues), że zgadzają się z nią bardzo dobrze wartości otrzymane z obserwacyi ruchu Browna.

Zanim przejdziemy do dalszego omówienia wyników powyższego wyznaczenia, przedstawimy jeszcze w krótkości najnowszą metodę, która polega na całkiem innych zasadach. Metoda ta współzawodniczy z tamtą pod względem prostoty i przewyższa ją, być może, pod względem dokładności.

Wiadomo, że w elektrolizie potrzeba przejścia ilości elektryczności wynoszącej 96 513 kulomby, by wydzielił się gram wodoru (lub innego jonu jednowartościowego). Jednowartościowe jony wodoru powstają przez odszczepianie po jednym elektronie od chemicznego atomu wodorowego; są to więc atomy obciążone jednym elementarnym ładunkiem elektrycz-

nym. Gdyby więc znany był ładunek elektronu, to dość byłoby podzielić przezeń liczbę powyższą, aby otrzymać liczbę atomów, zawartych w gramie wodoru. Dokładność tej metody zależy tylko od dokładności wyznaczenia ładunku elektronowego.

Otóż w tym względzie uczyniono w dwóch ostatnich latach nadzwyczajny postęp: metodę doświadczalną, której idea zasadnicza pochodzi od J. J. Thomsona i H. A. Wilsona, amerykanin Millikan przekształcił do tego stopnia, że nietylko pozwoliła na obliczenie z wielką dokładnością prawdziwego ładunku elektronowego, lecz nadto stwierdziła w sposób uderzający atomistyczno-elektronową strukturę elektryczności.

Millikan otrzymuje za pomocą rozpylacza bardzo małe kropelki oliwy, które właśnie z powodu swej małości przez czas długi mogą być zawieszone w powietrzu i przytem wiążą ze sobą od czasu do czasu to jeden to drugi z jonów dodatnich lub ujemnych, zawsze w powietrzu obecnych. Taką kropelkę umieszcza w przestrzeni pomiędzy dwiema poziomo ustawionemi płytami kondensatora i obserwuje przy pomocy lunety prędkość spadania kropelki pod wpływem ciężkości. Z prędkości tej przy pomocy znanego wzoru podanego przez Stokesa obliczyć można średnicę kropelki, której nie możnaby wymierzyć bezpośrednio z powodu jej małości.

Następnie nadaje się płytom kondensatora oznaczoną różnicę potencyałów, tak że kropelka pozostaje pod wpływem skombinowanym swego ciężaru i siły działającej na jej ładunek elektryczny. Jeżeli idzie np. o cząstkę naładowaną ujemnie, to nadając płytce górnej odpowiedni potencyał dodatni, można sprawić, że wzniesie się ona pod działaniem pola elektrycznego. Z odpowiedniej prędkości oblicza się łatwo wielkość siły elektrycznej, działającej na kropelkę, w stosunku do jej ciężaru, a stąd znów wielkość ładunku elektrycznego.

Warunkiem koniecznym powodzenia tego doświadczenia jest uniknięcie jakiegokolwiek prądu powietrza, a warunek ten był w doświadczeniach Millikana spełniony tak dokładnie, że jedna i ta sama kropelka mogła być obserwowana godzinami w polu widzenia lunety, przyczem spadała i podnosiła się setki razy.

Pomiary Millikana doprowadziły do wyniku, że ładunki elektryczne kropelek są dokładnie wielokrotnościami całkowitemi wielkości wynoszącej 4·89.10⁻¹⁰ jednostek elektrostatycznych.[1] Były one to dodatnie, to ujemne; wynosiły cztery, pięć, aż do siedmnastu takich quant

1) [Według nowszych pomiarów, 4·774.10⁻¹⁰ jedn. el.-stat.; przyp. wyd.]

elementarnych, ale w kilku tysiącach prób ani razu nie było ładunku odchylającego się od powyższych, t. j. ładunku, który byłby mniejszy od tego quantum lub zawierał ułamek tegoż.

Stanowi to dowód oczywisty, że elektryczność istnieje tylko — że tak powiemy — w kawałkach wielkości stałej, którą nazywamy ładunkiem „elementarnym“ lub ładunkiem „elektronu“. Godną podziwu jest subtelność i dokładność tej metody. Któż uważałby dawniej za możliwe wykonać pomiary bezpośrednie ładunków pojedyńczych elektronów! Jak wobec tego jest zupełnie beznadziejna myśl zbudowania wagi, na której możnaby ważyć pojedyńcze atomy! Okazuje się tu znów wyższość metod mierniczych, odnoszących się do wielkości elektrycznych, ponad metodami, dotyczącemi innych wielkości fizykalnych. Istnieje zresztą jeszcze cały szereg innych, równie interesujących metod obliczania ładunku elementarnego, które wszakże ustępują dopiero co opisanej pod względem dokładności.

Powróćmy teraz do naszego pierwotnego problematu. Ponieważ znamy już ładunek elementarny, to według powyższego otrzymujemy odrazu liczbę atomów, zawartych w gramie wodoru, mianowicie wynosi ona $N = 5{\cdot}9.10^{23}$. Jak widzimy, rząd tej wielkości zgadza się całkowicie z liczbą Perrina $N = 7.10^{23}$, otrzymaną na całkiem innej drodze, ale pozostaje wszakże pewna niezupełnie wyjaśniona różnica. Dopóki doświadczenia te nie będą powtórzone przez innych obserwatorów, trudno będzie orzec, która z tych dwóch liczb zasługuje na większe zaufanie. Na razie należałoby liczbę Millikana uważać za bliższą prawdy, gdyż raczej w doświadczeniach Perrina możnaby podejrzewać istnienie pewnych źródeł błędu. Uczynimy tedy może najlepiej, przyjmując liczbę $N = 6{\cdot}3.10^{23}$, odpowiadającą pomiarowi ruchu cząsteczkowego Browna, dokonanemu przez Zanggera, i zarazem bardzo bliską wartości $N = 6{\cdot}2.10^{23}$ wyprowadzonej przez Plancka z jego teorji promieniowania. Właściwego dowodu ta ostatnia zgodność stanowić nie może, gdyż teorja Plancka zbudowana jest na elementach hypotetycznych jeszcze niezupełnie wyjaśnionych, ale bądź co bądź podnosi to prawdopodobieństwo, że wybór nasz jest odpowiedni.

W każdym razie widzimy, że teorja atomistyczna wydoskonaliła się znacznie w naszych czasach pod względem ilościowym. Pytanie, jak wielką jest liczba atomów w danem quantum substancji, zostało doprowadzone do pewnego rozwiązania. Przed pięćdziesięciu laty nie miano żadnego wyobrażenia o tem, jak odpowiedzieć na to pytanie, przed laty

piętnastu wahano się jeszcze pomiędzy wyborem liczb 3.10^{24} i 6.10^{21}, dziś zaś idzie już tylko o różnicę niewielu odsetek w podanej wyżej wartości na N.

Wartość ta stanowi klucz do całego szeregu ważnych wniosków natury zasadniczej. Przedewszystkiem widzimy, że należy podzielić chemiczne ciężary cząsteczkowe przez liczbę $6 \cdot 3.10^{23}$, aby otrzymać prawdziwy ciężar atomów w gramach. Najmniejsza materyalna, elektrycznie obojętna cząstka, atom wodoru, waży tedy $1 \cdot 6.10^{-24}$ gramów.

Aby te liczby lepiej zrozumieć, pomyślmy, że kropla deszczu zawiera tyle atomów, ile wynosi liczba kropel wody, z których się składa całe Morze Śródziemne.

Są to jednak, jak dziś wiemy, nie najmniejsze z istniejących wogóle cząstek; to atomy posiadają budowę bardzo skomplikowaną. Ich części składowe stają się widocznemi dopiero wtedy, gdy budowa rozpada się w ruinę; taki proces nazywamy „przeobrażeniem promieniotwórczem“ atomu, obserwujemy go w substancyach promieniotwórczych. Są to, jak wiadomo, dodatnio elektryczne cząstki α wielkości atomu helu i cząstki ujemne β, identyczne z elementarnemi cząstkami elektryczności ujemnej, zwanemi „elektronami“. Muszą wszakże istnieć jeszcze mniejsze od cząstek α cząstki dodatnio elektryczne, gdyż dodatni jon wodorowy waży tylko tyle co czwarta część atomu helu ($He = 4$), lecz natura tych dodatnich cząstek nie jest nam dotąd bliżej znana.

Masę elektronów ujemnych znamy bardzo dokładnie. Można ją, jak to pierwszy wykazał J. J. Thomson, obliczyć z odchylenia promieni katodowych w polu magnetycznem; wynosi ona $\frac{1}{1820}$ masy atomu wodoru. Elektrony te występują stale tylko jako cząstki naładowane ujemnie; za najmniejszą dotąd znaną cząstkę nieelektryczną, za cząstkę najmniejszą tego, co nazywamy materyą, musimy zawsze uważać jeszcze atom wodoru.

Z tej podstawowej wielkości otrzymujemy dalej prostym sposobem liczbę cząsteczek, zawartych w jednostce objętości dowolnego gazu w normalnych warunkach (przy temperaturze 0^0 C i ciśnieniu 760 mm.). Albowiem cząsteczki wodoru są, jak wiadomo, dwuatomowe; jeżeli tedy połowę gęstości pomnożymy przez N, otrzymamy liczbę cząsteczek, przypadającą na 1 cm^3, mianowicie $2 \cdot 8.10^{19}$ t. j. prawie połowę wartości, przyjętej przez O. E. Meyera. Wiadomo, że liczba ta, według prawa Avogadro, jest stała dla wszystkich gazów. Kto rozkoszuje się wielkiemi

liczbami, niechaj sobie obliczy, ile cząsteczek zawiera atmosfera ziemska, albo z ilu mniej więcej atomów składa się nasz układ słoneczny. W pierwszym przypadku znajdzie liczbę rzędu wielkości 10^{44}, w drugim 10^{56}.

Jest to oczywiście zabawka dość bezpożyteczna, gdyż wogóle nie mamy właściwego zrozumienia dla liczb takich. Ale zauważyć godzi się, że nawet w najmniejszej objętości, dostrzegalnej gołem okiem — t. j. w sześcianie o krawędzi 0,1 mm — w warunkach normalnych zawiera się nie mniej niż 3.10^{13} cząsteczek gazu. Okoliczność ta jest wielkiej wagi ze względu na atomistyczno-kinetyczną interpretacyę twierdzeń Termodynamiki; według której twierdzenie o entropii jest twierdzeniem o prawdopodobieństwie, uzasadnionem statystycznie, które zachodzi tylko z takiem przybliżeniem, jak prawo wielkich liczb. Otóż jest jasnem, że w rzeczy samej w praktyce makroskopijnej mamy zawsze do czynienia z tak olbrzymiemi liczbami cząsteczek, że prawo wielkich liczb istotnie zachodzić musi z wielką dokładnością.

Zato w metodach obserwacyj „mikroskopijnych“ mogą przy pewnych okolicznościach zachodzić odchylenia od przebiegu oczekiwanego według twierdzeń zwykłej Termodynamiki; w istocie: tego rodzaju odchylenia stanowią właśnie podstawę wyżej krótko wspomnianych lub szczegółowiej opisanych metod do wyznaczania liczb cząsteczek (ruch Browna, opalescencya, rozmieszczenie cząstek emulsyi). Musimy wszakże odmówić sobie bliższego rozwinięcia tu bardzo interesującego związku pomiędzy Termodynamiką i twierdzeniami Rachunku prawdopodobieństwa, ponieważ rzecz ta przekroczyłaby granice studyum niniejszego.

Z pozyskanego tym sposobem nowego punktu widzenia można dziś podjąć na nowo pytanie o wielkości atomów. Przy użyciu stałej b van der Waalsa wypadają na wielkość średnicy cząsteczek wodoru, argonu, kryptonu, powietrza i t. p. wartości 5.10^{-8} do 7.10^{-8}, a więc nie bardzo odbiegające od liczb Loschmidta.

Lecz nie rozstrzyga to bynajmniej przytoczonych wyżej pytań zasadniczych. Bo cóż oznacza taka „średnica“? Czy objętość atomu nie ma być raczej uważana jako pewna sfera działania sił odpychających, jak to naprzykład przyjmował Maxwell w swych późniejszych pracach nad teoryą kinetyczną gazów? W tej Maxwellowskiej teoryi gazów zbudowanej na hypotezie o siłach odpychających cząsteczkowych odwrotnie proporcyonalnych do 5-ej potęgi odległości, nie występuje ani pojęcie drogi wolnej średniej, ani pojęcie prawdziwej średnicy cząsteczki.

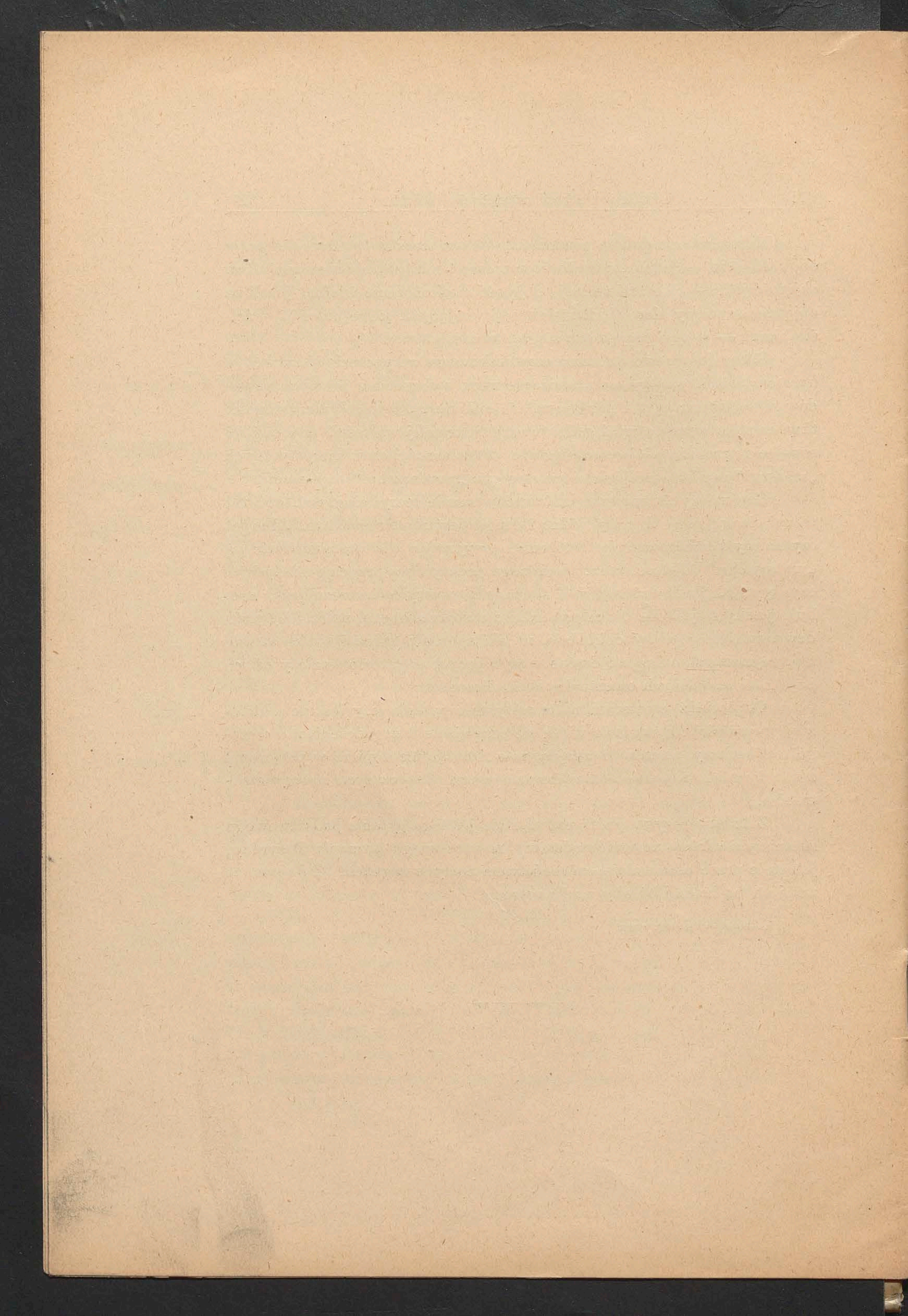
Można równie dobrze powiedzieć, że cząsteczki Maxwella mają objętość zero (jeżeli przez to rozumiemy bezwzględnie nieprzenikliwą objętość jądra) albo też, że mają objętość nieskończenie wielką, jeżeli za objętość uważamy sferę działania sił odpychających, które przecież, ściśle biorąc, w tym przypadku sięgają do nieskończoności.

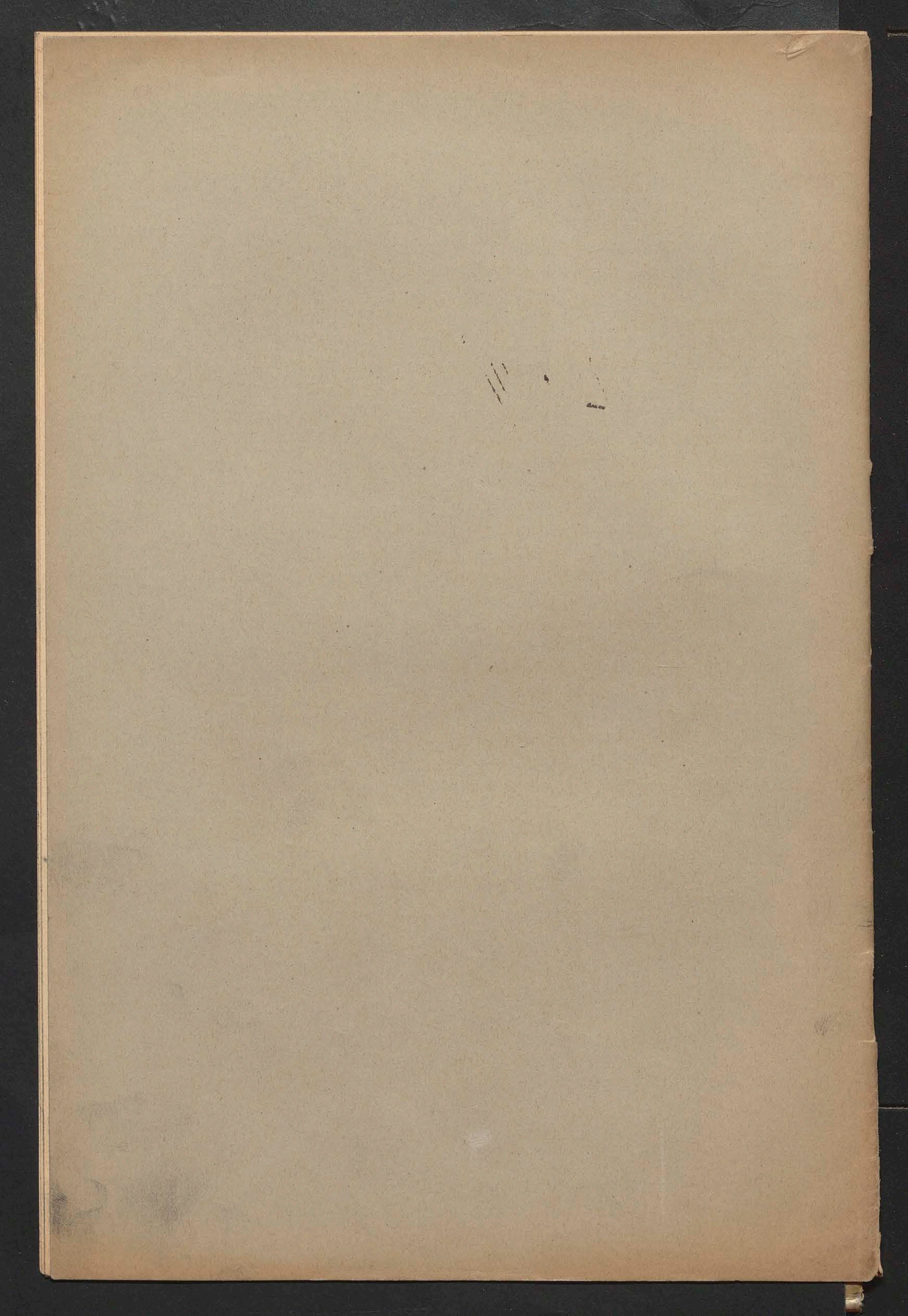
Specjalne prawo działania cząsteczkowego w hypotezie Maxwella było oczywiście ~~przyjęciem~~ założeniem prowizorycznem, wybranem z pewnych powodów matematycznych i nikt poważnie nie wierzył w jego rzeczywistość; tkwi w niem wszakże myśl godna uwagi i trwałej wartości, mianowicie: ~~przyjęcie~~ przypuszczenie przejścia ~~miejscowe~~ przestrzennie ciągłego dla własności charakterystycznych materyi zamiast przejścia nieciągłego na powierzchni cząsteczek.

Czy należy atomistykę budować w sensie teoryi ciągłości, czy też teoryi nieciągłości? A priori jedno i drugie jest równie możliwe. Albo też, czy należy kombinować oba założenia, przyjmując dla atomów właściwą materyalną objętość jądra, otoczonego pewną sferą przyciągania, jak to czynią np. Sutherland i Kleeman w swych interesujących spekulacyach? Aby móc o tem powiedzieć coś określonego, należałoby przedewszystkiem wiedzieć dokładnie, w jaki sposób pozorna średnica atomu, t. j. najmniejsza odległość dwóch spotykających się atomów, zależy od ich prędkości i od innych ewentualnych okoliczności.

Odpowiedź ostateczna na te wszystkie pytania leży jeszcze w dalekiej przyszłości. Pytania te wiążą się oczywiście z zagadnieniem o szczegółach wewnętrznej budowy atomów i znajdą ~~swe~~ rozwiązanie dopiero w połączeniu z rozwiązaniem ~~zupełnie~~ analogicznych pytań, dotyczących natury elektronów. Zaledwie fizyka przez rozwiązanie jednego pytania podstawowego atomistyki zdołała umocnić podstawy nowoczesnego poznania przyrody, już staje przed oszałamiającem mnóstwem nowych zagadek. Dobrze, że tak jest; inaczej byłaby nauką martwą.

~~Lwów, Uniwersytet.~~





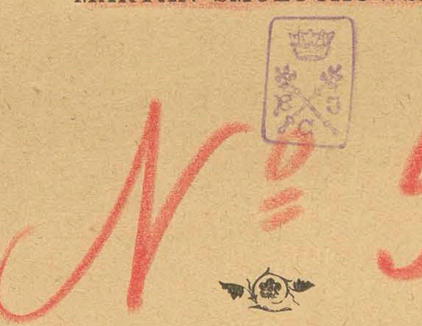
Odbitka z czasopisma Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika
KOSMOS XXXVIII.
1913.

Dzisiejszy stan teoryi atomistycznej

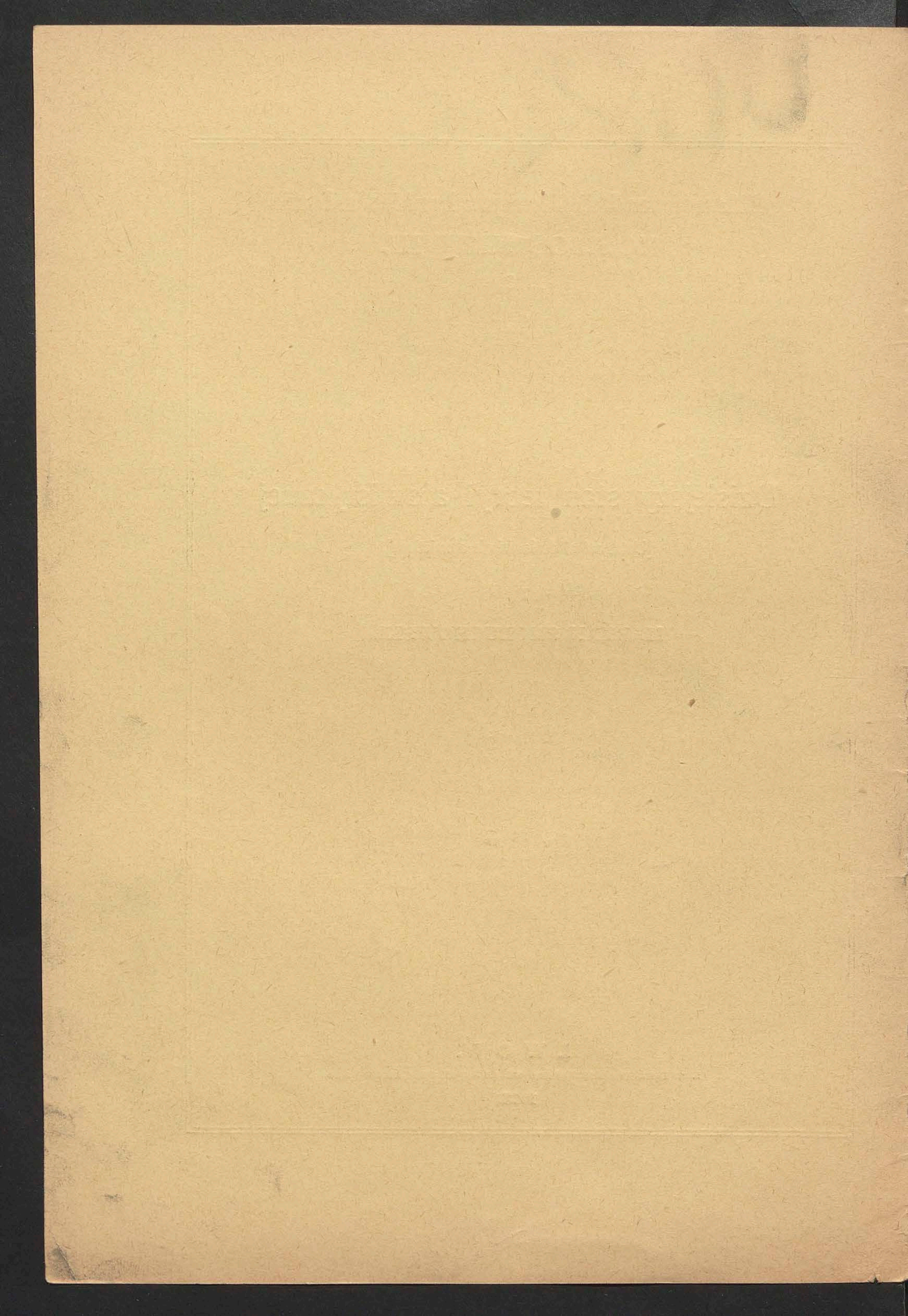
[L'etat actuel de la théorie atomistique]

napisał

MARYAN SMOLUCHOWSKI.



LWÓW.
I. ZWIĄZKOWA DRUKARNIA WE LWOWIE, UL. LINDEGO L. 4.
1913.



44

Odbitka z czasopisma Kosmos zeszyt 4—6 z r. 1913.

Odczyt wygłoszony na kursach uzupełniających dla nauczycieli we Lwowie, dn. 12. marca 1913 r. — Kosmos, tom XXXVIII, str. 355—373 1913.

V. Dzisiejszy stan teoryi atomistycznej

[L'état actuel de la théorie atomistique], *)

napisał

MARYAN SMOLUCHOWSKI.

Spróbujmy wmyśleć się na chwilę w położenie historyka, który w kilkadziesiąt lat po nas będzie opisywał dzieje nauk ścisłych doby dzisiejszej. Ostatnie dwudziestolecie, na przełomie z dziewiętnastego na wiek dwudziesty, będzie mu się przedstawiało niewątpliwie jako okres świetnego rozwoju nauk ścisłych, w szczególności fizyki, okres pełny odkryć nadzwyczajnych, wprost sensacyjnych. Fale elektromagnetyczne i telegrafja bez drutu, uprzystępnienie nizkich temperatur przez skroplenie wodoru i helu, osiągnięcie (w ostatnich czasach) temperatury —272° C, odległej tylko o jeden stopień od bezwzględnego zera, odkrycie promieni Röntgena, poznanie istoty promieni katodowych, odkrycie promieni ciał promieniotwórczych, odkrycie zjawiska Zeemana: wszystko to są odkrycia pierwszorzędne w historyi nauk, których znaczenie każdy laik nawet rozumie, i które nawet w prasie codziennej sensacyjnem echem się odzywały.

Jeżeli ów historyk będzie jednak umysłem głębszym, nie zadowoli się zarejestrowaniem tych faktów zewnętrznych, po części nawet przypadkowych, tylko lecz będzie dążył do tego, żeby zdać sprawę z ukrytych sprężyn rozwoju naukowego, z ogólnych prądów umysłowych, prze-

*) Odczyt inauguracyjny na kursie uzupełniającym dla nauczycieli szkół średnich we Lwowie, dnia 12. marca 1913.

Słów podkreślonych proszę nie spacjować

jawiających się w nauce, to dopiero jest właściwa historya nauki. Jakie tedy kierunki naukowe w fizyce, ~~czyli filozofji przyrody, jak Anglicy słusznie powiadają,~~ uderzą go, jako wybitne cechy, charakteryzujące ten okres czasu?

Gdybym miał ~~określić~~ kilkoma słowami fazę rozwoju fizyki w tym czasie, powiedziałbym, że jest to: *odrodzenie atomistyki*, połączone z *elektryzacyą fizyki*; a ogólne tło tego ruchu jest powrót do *spekulatywnego romantyzmu naukowego*. Będę się starał ~~bliżej~~ wyjaśnić te wyrażenia, dając, z tego ~~właśnie~~ punktu widzenia, pogląd na obecny stan fizyki teoretycznej.

Mówiąc o odrodzeniu atomistyki tem samem już zaznaczamy, że poprzedzający okres był okresem względnego upadku albo przynajmniej *poniewierki* atomistyki. Tak ~~też~~ istotnie było. Pod koniec dziewiętnastego wieku górowała w świecie naukowym opinia, że atomistyka i wraz z nią tak zwana teorya kinetyczna materyi jest *przeżytkiem*, że jest to teorya na zagładę skazana, ~~jak niegdyś Newtona emisyjna teorya światła~~.

Słynny fizyk i filozof Mach, ~~pod innym względem~~ tak zasłużony około filozoficznego pogłębienia nauk ścisłych, zwalczał ~~namiętnie~~ atomistykę jako ~~dziecinną~~ bezpodstawną spekulacyę. Profesor *Ostwald*, wówczas niezaprzecznie pierwszą rolę odgrywający ~~na całym obszarze~~ chemii fizycznej, stworzył kierunek „energetyczny“, który upatruje w pojęciu energii jedyną rzeczywistość, a zatem ~~ubóstwia~~ termodynamikę, jako naukę o energii, a potępia ~~cały~~ mechaniczny pogląd na świat, a wraz z nim ~~także~~ pojęcie atomów i ~~drobin~~. Podobną rolę we Francyi odgrywał ~~słynny~~ *Duhem*. Za tymi przywódcami szła ~~cała~~ rzesza innych uczonych i uczniów.

Jako charakterystyczny szczegół podniosę, że po okazaniu się ~~wspaniałego~~ dzieła *Boltzmanna* „Vorlesungen über Gastheorie“ w roku 1898, w ~~znanem~~ niemieckiem czasopiśmie naukowem pojawiło się sprawozdanie o takiem brzmieniu: „teorya kinetyczna, jak wiadomo, jest tak samo błędna, jak różne mechaniczne teorye grawitacyi, zwłaszcza błędnie pojmuje zasadę zachowania energii; jeżeli jednak ktoś koniecznie chce się z nią zapoznać, niech weźmie do ręki dzieło Boltzmanna“. ~~Sam Boltzmann w przedmowie do swego dzieła skarży się,~~

że teorya kinetyczna wyszła z mody, i oświadcza, że napisał książkę swą po prostu dlatego, żeby uratować to od zapomnienia, co już jest znane.

Jest to rzeczą ogromnie pouczającą śledzić zmienne losy teoryj naukowych; są one ciekawsze od zmiennych losów ludzi, bo każda z nich zawiera w sobie coś nieśmiertelnego, choć pewną cząstkę wiecznej prawdy. Jakiż więc był powód owej nagonki na teoryę atomistyczno-kinetyczną?

Poniekąd była to po prostu całkiem usprawiedliwiona reakcya przeciwko pseudo-naukowym wybujałościom, które wyrosły na tle atomistyki. Pojęcia atomów i drobin wydają się bardzo proste, zrozumiałe, i pozornie teorya atomistyczna nadaje się doskonale do szerokiej popularyzacyi. Popularyzacya jest jednak rzeczą ogromnie niebezpieczną, jeżeli podejmują się jej niepowołani. Co na polu atomistyki nagrzeszono, począwszy od pseudo-filozoficznych dzieł, jak sławetna książka Büchnera „Kraft und Stoff“, aż do podręczników szkolnych, o tem możnaby zapełnić obszerne tomy.

Jako odstraszający przykład, który Panów jako nauczających może interesować, przytoczę pewien, także u nas, a zwłaszcza w Królestwie używany podręcznik szkolny, w którym cała nauka fizyki rozpoczyna się dogmatycznem wygłoszeniem definicyj, co to jest materya, atom, molekuła. Są to definicye przeważnie bez wartości naukowej, a w każdym razie dydaktycznie chybione, n. p.

Co to jest ciało? Ciało jest to jakakolwiek ilość materyi złożona z molekuł.

„Zmiana fizyczna jest to taka zmiana, przy której natura molekuł się nie zmienia.

Co to jest ciało stałe? Takie ciało, którego molekuły tylko z trudnością mogą zmienić swe położenie.

Wszak każdy pedagog zrozumie, że nauka fizyki powinna się rozpocząć od poznawania *zjawisk* fizycznych, a nie od wtłaczania w umysły dziecinne *teoryj*, choć zresztą może najzupełniej racyonalnych pod względem naukowym. Także teorya atomistyczna nie powinna być *podstawą* nauki szkolnej, tylko jej ostatnim *szczeblem*, dostępnym dopiero dla umysłów dojrzalszych, które już gruntownie poznały zjawiska konkretne i potrafią zrozumieć właściwe znaczenie hipotez i te-

oryi. Przedewszystkiem jednak definicye opierać się powinny na zjawiskach dostrzegalnych, a nie na pojęciach teoretycznych. ~~Nie można się nawet tak bardzo dziwić Ostwaldowi, że wobec takich książek jako antidotum napisał podręcznik chemii, tej najwięcej „atomistycznej nauki“, w którym obywa się zupełnie bez pojęć atomów i molekuł. Nie sądzę, żeby tak należy uczyć chemji, ale rozumiem, że można było napisać taką książkę.~~

Z ~~ową~~ reakcyą przeciwko pedagogicznym i naukowym wybujałościom materyalistycznej atomistyki łączył się ~~jeszcze~~ ogólny prąd naukowo-filozoficzny, który nazwać można „fenomenalizmem“. Przedstawiciele tego kierunku, ~~wymieniony poprzednio filozof~~ Mach, ~~fizyk~~ Duhem, po części też ~~anglicy~~ Clifford, Pearson i inni, głosili zasadę po części ~~bardzo~~ słuszną, że ostatecznym i jedynym celem fizyki jest: poznanie prawidłowości dostępnych nam zjawisk, ~~w fenomenów fizycznych~~, nie zaś poznanie wiecznie ukrytej ~~nam~~ istoty wszech rzeczy.

Badajcie zatem zjawiska fizyczne, mówili, starajcie się opisać je zapomocą równań matematycznych; ~~ale wszelkie~~ spekulacye sięgające głębiej, ~~wszelkie~~ poszukiwania ukrytych mechanizmów ~~owych~~ zjawisk są zgubne, są ~~conajmniej~~ marnotrawieniem sił i czasu. ~~Stwórzmy „eine hypothesenfreie Wissenschaft“ głosił Ostwald. Jak gdyby wogóle można stworzyć naukę przyrodniczą bez jakichkolwiek hipotez! Czyż jakiekolwiek twierdzenie wychodzące poza zakres pustej formalnej logiki, jest absolutnie pewne w zastosowaniu do świata zewnętrznego? I to jest hipoteza, że w tej chwili kilkadziesiąt osób wypełnia tę salę. Może to tylko moje złudzenie optyczne albo halucynacya we śnie?~~

~~Jednak~~ Ogólne hasło było: „precz ze spekulacyami teoretycznemi!“ Zapomniano, że te spekulacye były zawsze najpotężniejszymi bodźcami postępu w nauce, że one jedyne wskazują nowe drogi badania. Zapanował w nauce prąd przesadnie krytyczny, możnaby powiedzieć: tchórzliwie trzeźwy. Nie łatwo ~~to~~ obciąć skrzydła umysłowi ludzkiemu; ale kto nie mógł się powstrzymać od spekulacyj, przynajmniej powstrzymywał się od ogłaszania ich ~~i kompromitowania się~~ publicznie.

Pamiętam ~~dobrze~~, jak ~~nieraz~~ sam długi czas wahałem się i ociągałem z ogłoszeniem moich przyczynków do teoryi kine-

tycznej. Wszak naturalnie prąd ten zwracał się przedewszystkiem przeciwko najpotężniejszej teoryi, jaką dotychczas nauka wydała, tj. teoryi atomistycznej. Kto wie, jak długo owa stagnacya, ów jałowy nastrój byłby potrwał, gdyby nie były przyszły, w krótkich odstępach czasu, wstrząsające odkrycia Röntgena, Bequerela, małżonków Curie, Zeemanna i wiele innych badań, które z jednej strony wykazywały namacalnie, wiele to jeszcze jest rzeczy pod niebem, o których się dotychczas nie śniło filozofom, a z drugiej strony udowadniały wartość hipotez naukowych, zwłaszcza teoryi atomistyczno-elektronowej.

Dla wytłómaczenia ówczesnego upadku atomistyki naszkicowałem tu kilkoma słowami ogólny nastrój umysłowy owej epoki; to byłoby wystarczające, jako tło psychologiczne, gdyby nam chodziło o prądy w filozofii, literaturze lub sztuce. Ale wyznawcy nauk ścisłych są to ludzie twardzi, uparci w swych dążeniach, którzy nie ustępują pod wpływem ogólnych nastrojów, a dają się przekonać tylko argumentami namacalnemi. Otóż istniały też bardzo poważne argumenty faktyczne, przemawiające wówczas przeciwko atomistyce i powodujące ogólne zniechęcenie do tego kierunku. Roztrząsaniem tego przedmiotu zajmiemy się obecnie nieco więcej szczegółowo, gdyż stanowi on właściwe jądro najważniejszych zagadnień związanych z atomistyką i teoryą kinetyczną.

Może przy tej sposobności wolno mi nawiasowo wytłómaczyć, czemu tych pojęć do pewnego stopnia używam jako synonimów, pomimo, że właściwe znaczenie słów: teorya „atomistyczna" i „kinetyczna" jest całkiem różne. Wszak wiadomo, że dawna atomistyka Daltona wzbogaciła się, od czasów sformułowania zasady zachowania energii, dodatkowem przyjęciem, że atomy i drobiny znajdują się w bezustannym ruchu, że ciepło jest poprostu zapasem energii kinetycznej, a miarą energii kinetycznej tych ruchów wewnętrznych jest właśnie to, co nazywamy temperaturą. Od czasów Roberta Mayera i Helmholtza atomistyka zlała się zatem z teoryą kinetyczną w jednolitą całość.

Otóż owe zarzuty, o których wspominałem, odnoszą się właśnie do zasadniczej własności wszelkiej teoryi kinetycznej: do odwracalności zjawisk mechanicznych.

Co przez to rozumiemy, ilustruje prosty przykład. Jeżeli rzucimy kamień z punktu A do punktu B, to też odwrotnie można z punktu B rzucić ten kamień do punktu A; i będzie on przebiegał ten sam tor, z temi samemi prędkościami, tylko w kierunku przeciwnym. Co prawda, jest to tylko ważne, o ile pomijamy siły rozpraszające energję, jak tarcie albo opór ośrodka. Odwracalność jest zasadniczą własnością wszelkich ruchów, które się odbywają pod działaniem sił konserwatywnych. Matematyk zrozumie to natychmiast, ponieważ wtedy w Newtonowskich równaniach ruchu występuje zmienna t, czas, tylko w pojęciu przyspieszenia, jako $(dt)^2$; a zatem równania pozostają niezmienione, jeżeli element czasu dt zaopatrzymy znakiem ujemnym. To znaczy, że wszystkie ruchy konserwatywne mogą się odbywać również w porządku odwróconym: od stanu końcowego ku położeniu początkowemu. W teorji kinetycznej musimy przyjąć wyłącznie konserwatywne siły między atomami czy drobinami, w tego wymaga zasada zachowania energii; a zatem wynika, że wszystkie zjawiska atomistyczno-drobinowe muszą być w zasadzie odwracalne.

Jeżeli zaś prawdą jest, że wszystkie ciała składają się z poruszających się atomów i drobin: czemu nie widzimy np. nigdy konia biegnącego w tył, tak jak lokomotywa może jechać wstecz? Czemu nie zdarza się nigdy, jeżeli wszystko jest odwracalne, żeby stary człowiek odmłodniał, z czasem się stał młodzieńcem, dzieckiem, niemowlęciem? W tych przykładach chodzi o skomplikowane istoty, żyjące; możnaby sądzić, że one podlegają prawom odmiennym; jednakowoż tak samo i w przyrodzie martwej spotykamy na każdym kroku tzw. zjawiska nieodwracalne. Wszak nawet naczelne prawo termodynamiki, tzw. druga zasada, brzmi w słowach Clausiusa: „Ciepło nie może nigdy samo przez się przejść z ciała zimniejszego do cieplejszego“. Pręt żelazny, jednym końcem ogrzany, wyrównywa z czasem swoją temperaturę, ciepło z części cieplejszej przepływa ku zimniejszej. Natomiast nigdy nie obserwujemy zjawiska odwrotnego, ażeby pręt, początkowo jednakową posiadający temperaturę, bez zewnętrznego powodu, sam przez się jednym końcem się ogrzał, a drugim się oziębił.

Podobnie: Wrzucając kamień do stawu widzimy, że kamień z czasem zatraci swoją energję kinetyczną, ściślej mówiąc, zamienia ją w ciepło wskutek tarcia o wodę, a sam opada na dno stawu; a nikt nie widział jeszcze zjawiska odwrotnego: ażeby kamienie leżące na dnie stawu, same przez się wylatywały w powietrze. Zjawisko takie nazwalibyśmy cudem.

Taksamo, wlewając wino do wody, widzimy, że te dwie ciecze się mieszają; nawet bez naszej pomocy z czasem wytworzy się — wskutek dyfuzji — jednorodna mieszanina. Nigdy niestety nie zauważymy zjawiska przeciwnego, samodzielnego rozdzielenia się wodnistego wina na wodę i wino czyste.

Nieodwracalność tych zjawisk dyfuzji, przewodnictwa cieplnego, tarcia wydaje się zupełnie oczywista, ale termodynamika jeszcze wzmacnia naszą wiarę w nią, dowodząc, że gdyby owe zjawiska się dały odwrócić, możliwe byłoby skonstruowanie perpetuum mobile, co fizyka nowoczesna uważa za wykluczone.

Mamy więc oczywistą sprzeczność: teorja kinetyczna nie może być słuszna, ponieważ według niej przy każdem z owych zjawisk również możliwy musiałby być ten przebieg odwrotny.

Dużo uczonych pierwszorzędnych dało się odstraszyć tą argumentacją. Napróżno Boltzmann, wielki bojownik atomistyki, starał się sprawę wyjaśnić, tłómacząc, że zjawisko odwrotne jest wprawdzie możliwe, ale jest niezmiernie nieprawdopodobne. Dlaczego, powiadano, przebieganie zjawiska w jednym kierunku miałoby być więcej prawdopodobne niż w drugim?

Dzisiaj doszliśmy do przekonania, że jednak Boltzmann miał rację, usuwając owę pozorną sprzeczność przez wprowadzenie pojęcia prawdopodobieństwa; równocześnie pogłębiliśmy jego pomysły i poznaliśmy niemal namacalne dowody ich słuszności.

Zrozumiemy to najlepiej, rozważając prosty przykład, do którego niewątpliwie reguły prawdopodobieństwa się stosują. Wyobraźmy sobie pudło, które prawie do połowy wypełnimy kuleczkami białemi a następnie dopełnimy jednakową ilością takich samych kuleczek czerwonych. Możemy te kuleczki tak

starannie ułożyć, że wszystkie białe znajdywać się będą w jednej połowie, wszystkie czerwone w drugiej połowie pudełka. Jeżeli jednak pudełkiem będziemy potrząsać, porządek ten będzie się zacierać, nastąpi stopniowe rozmieszanie, tak że z czasem w każdej części mniejwięcej jednakowe się znajdą ilości białych i czerwonych kuleczek. Wszak stan rozmieszania oczywiście jest prawdopodobniejszy niż stan początkowy, uporządkowany, tak samo jak przy rozdawaniu kart między czterech graczy prawdopodobniej każdy otrzyma karty różnych barw; i chyba nadzwyczaj rzadko się zdarzy, żeby wszystkie karty gracza miały jedną i tę samą barwę.

Jest tu zupełna analogja z winem i wodą w naczyniu, które wskutek wewnętrznych ruchów drobinowych z czasem się zmieszają. Jednak w prawdopodobieństwie istnieją tylko różnice stopniowe, każdy możliwy przypadek posiada pewne prawdopodobieństwo i z czasem musi się przytrafić. Jeżeli owi gracze całe swoje życie poświęcą szlachetnej grze w karty, niewątpliwie przytrafi im się kiedyś i taki dziwny przypadek, że jeden dostanie same coeur, drugi carreau, trzeci trèfle, czwarty same pique.

Tak samo też fizyk obserwujący bezustannie ową mieszaninę wina i wody kiedyś musiałby zauważyć, że choć na chwilę wino się oddzieli samo przez się od wody czystej. Ale jak rzadko takie anormalne zjawisko występuje, to zależy od liczby kart, kuleczek, drobin cieczy. Czem większa liczba ich, tem mniejsze prawdopodobieństwo zdarzenia anormalnego; jest to słynne tzw. „prawo wielkich liczb". Istotnie na podstawie obliczeń z teorji prawdopodobieństwa twierdzić możemy, że automatycznego rozdzielenia się kieliszka wina wodnistego na czyste wino i czystą wodę nie zauważono by zapewne ani razu w okresie czasu równym tzw. wiekowi ziemi (100 mil. lat); pochodzi to od kolosalnej liczby drobin udział biorących w tem zjawisku.

To wyjaśnia zatem ową pozorną sprzeczność. W zasadzie wszelkie zjawiska atomistyczno-drobinowe są odwracalne. Że zaś istnieją całe kategorje zjawisk, które uważamy za nieodwracalne, pochodzi tylko stąd, że w praktyce wychodzimy ze stanu początkowego uporządkowanego, nadzwyczaj nieprawdopodobnego z punktu widzenia teorji

kinetycznej; i zazwyczaj wiele za krótki czas zjawisko obserwujemy, aby móc zauważyć jego powrót do owego wyjątkowego stanu początkowego. W naszej krótkowzroczności jesteśmy podobni do owych kwiatów, które na wiosnę się budzą pod wpływem wzrastającego ciepła słonecznego i podczas swego krótkiego życia zapewne to uważają za dogmat, że: „klimat wszechświata ze stanu zimniejszego przechodzi w stan cieplejszy". O tem zaś, że kiedyś znów powróci jesień i zima, nigdy się nie dowiedzą.

Atomistyczno-kinetyczny punkt widzenia zgadza się zatem tak dalece zupełnie z zasadami termodynamiki, o ile chodzi o stosunkowo niezbyt długi czas obserwacyi, choć dla zjawisk długotrwałych kosmicznych, wynikają diametralnie przeciwne konsekwencye. Clausius twierdził na podstawie empirycznej termodynamiki, że entropia wszechświata bezustannie wzrasta, że zatem wszechświat z czasem musi przejść w stadyum zupełnej martwoty, w ów słynny „Wärmetod", w którym wszelka energia potencyalna zamieniła się w ciepło i wszystkie różnice temperatur się wyrównały. Teorya kinetyczna przeciwnie twierdzi, że po stadyum martwoty znów wystąpi nowe życie, gdyż wszystkie stany z czasem powracają w wiecznym korowodzie.

Wobec tych wszystkich wywodów wrogowie atomistyki mogą powiedzieć: Przyznajemy zatem, że sprzeczność odnosząca się do istnienia zjawisk nieodwracalnych jest tylko pozorna, gdyż z powodu wielkiej liczby drobin, z powodu względnej krótkości czasu obserwacyi (z punktu widzenia teoryi kinetycznej) nie możemy się wcale spodziewać, żeby owe zjawiska sprzeczne z termodynamiką dały się zauważyć w codziennej naszej praktyce, laboratoryjno-technicznej. Zgoda na to — ale nie wynika jeszcze wcale, żeby atomistyka miała mieć rację w przepowiadaniu owych zjawisk, niezgodnych z codzienną empiryą, na długą metę. Pokażcie nam choć jeden przykład, że tak zw. zjawisko nieodwracalne przebiegło w kierunku odwrotnym.

Otóż takich właśnie przykładów poznano cały szereg w ostatniem dziesięcioleciu; to jest wielki postęp, to jest ostateczne zwycięstwo teoryi kinetycznej nad dotychczasową termodynamiką, zwycięstwo spekulacyi nad krótkowzrocznym

empiryzmem. Gdzie takich przykładów szukać należy, zrozumiemy już na podstawie tego, co dotychczas rozważaliśmy, mianowicie: w świecie mikroskopijnym. Wszak Oczywiście tem prędzej natrafimy na jakieś zjawisko abnormalne, mało prawdopodobne, czyli odchylające się od prawa wielkich liczb, czem mniejsza jest liczba drobin w nim udział biorących.

Żeby w całym kieliszku wina wystąpił rozdział na składowe substancye czyste, jest to rzeczą ogromnie nieprawdopodobną; natomiast prędzej możemy się spodziewać, że częściowy rozdział zauważymy w najmniejszych, mikroskopijnie dostrzegalnych jego częściach. Szwedzki chemik Svedberg obserwował przed kilku laty koloidalny roztwór złota, w którym pod ultramikroskopem zauważyć można pojedyncze cząstki złota, jako świecące, bezustannie poruszające się punkciki. Otóż liczba tych punkcików, zawartych w polu widzenia mikroskopu, czyli koncentracya złota, zmienia się ustawicznie, to wzrasta, to maleje, wciąż wahając się koło pewnej średniej wartości. Tu zatem widzimy na własne oczy owo automatyczne mieszanie i rozkładanie się roztworu. A także ilościowo stwierdzono dokładną ważność wzorów dla tego zjawiska, poprzednio już wyprowadzonych na podstawie teoryi prawdopodobieństwa.

Sam zaś ruch, które owe cząstki złota wykonywają, jest drugim przykładem zjawiska sprzecznego z tradycyjną termodynamiką. Jest to tzw. ruch Browna, zjawisko odkryte już w wieku 18-ym, a nieco bliżej zbadane po raz pierwszy przez angielskiego botanika Browna w r. 1827, odtąd niezliczone razy obserwowane, ale mimo wszelkich wysiłków niewytłómaczone, aż dopiero w ostatnich latach teorya kinetyczna dała klucz do jego zrozumienia. Można je bardzo łatwo zauważyć już przy pomocy zwykłego mikroskopu, obserwując jakibądź preparat zawierający zawiesinę drobnych cząstek w cieczy. Najlepiej do tego nadaje się gumiguta, owa żółta farba akwarelowa, której odrobinę w wodnym roztworze umieśćmy między szkiełkami mikroskopu. Widzimy tedy przy dostatecznem powiększeniu obraz zadziwiający: cząstki gumiguty, drobniutkie kuleczki, wykonywują ruchy bezustanne, trzęsą się, jakby mrówki krzątające się koło mrowiska; a gdy powiększenie jest mniejsze, wygląda to jak rój komarów tańczących. Ruchy te są

całkiem niezależne od wpływów zewnętrznych, i są w ścisłem znaczeniu słowa nieustanne.

Wiemy dzisiaj, że powstają one wskutek uderzeń, wykonanych przez drobiny cieczy otaczającej; wiemy, że jest to bezpośrednia ilustracya ruchów cieplnych drobin, owej agitacyi termicznej, wspólnej wszystkim ciałom o strukturze drobinowej. Dowodem tego jest nietylko wygląd zjawiska, jego trwałość i niezależność, ale ścisła ilościowa zgodność pomiarów nad niem wykonanych z obliczeniami teoretycznemi, opartemi na teoryi kinetycznej. Perrin, Dąbrowski, Svedberg i inni sprawdzili doświadczalnie wzory teoretyczne we wszystkich szczegółach, co do zależności zjawiska od czasu, rozmiarów ziarn, temperatury i rodzaju cieczy użytej.

Ciekawą jest też pewna modyfikacya tych doświadczeń: jeżeli się obserwuje rozmieszczenie owych cząstek gumiguty w przekroju pionowym, ponad dnem naczynia.

Mianowicie cząstki, mimo że są cięższe od wody, przecież nie opadają wszystkie na dno, jak kamień rzucony do stawu; lecz wskutek swych bezustannych ruchów odbijają się od dna naczynia i tworzą nad niem warstwę, na dole najgęstszą, ku górze stopniowo coraz rzadszą, zupełnie tak samo jak atmosfera ziemska (pod wpływem ciężkości) największą przybiera gęstość na powierzchni morza, a ku górze staje się coraz rzadsza. Istnieje tu ścisła analogia: ten sam znany powszechnie wzór, używany do barometrycznego mierzenia wysokości nad powierzchnią ziemi, stosuje się także do owej atmosfery złożonej z cząstek gumiguty. Różnica jest tylko ilościowa: gęstość atmofery ziemskiej obniża się do połowy przy wzniesieniu na wysokość 5600 *m*, w owej warstwie gumiguty występuje takie samo zmniejszenie gęstości na wysokości kilku tysięcznych mm; otóż stosunek tych odległości musi być odwrotnie proporcyonalny do stosunku ciężarów drobiny gazu (powietrza) a cząstki gumiguty.

Dzięki tej ostatniej uwadze, która jest prostą konsekwencyą elementarnych praw hydrostatyki, zyskujemy sposób obliczenia z tego rodzaju zjawisk ciężaru drobin gazowych, a co za tem idzie, liczby i rozmiarów drobin i atomów. Nie wchodząc w dalsze szczegóły, wspomnę tylko, że tym sposobem obliczono, zgodnie zresztą z innemi metodami rachunku, że jeden centy-

metr sześcienny powietrza (czy jakiegokolwiek innego gazu) w normalnych warunkach temperatury i ciśnienia, zawiera 3. 10^{19}, czyli trzydzieści trylionów ~~drobin~~. ~~Co takie liczby znaczą, zrozumiemy może lepiej, gdy sobie wyliczymy, że jedna kropelka deszczu tyle zawiera drobin wody, ile kropelek deszczu znajduje się w całem morzu Śródziemnem!~~

~~Ale~~ powróćmy do przerwanego toku myśli. Bezwzględny zwolennik termodynamiki musiałby to za cud uważać, gdyby kamienie wrzucone na dno, same przez się nabierały ruchu i napowrót ze stawu wylatywały. Tu pod mikroskopem widzimy jak ten cud bezustannie się dokonywa, jak cząstki gumiguty na dno opadają, same przez się znowu się wznoszą, znów opadają i tak w ciągłym pozostają ruchu. ~~Więc~~ doświadczenie rozstrzyga na korzyść atomistyki, ~~tam~~ gdzie jest istotnie sprzeczna z termodynamiką.

Nie znaczy to oczywiście, żeby ~~od dziś dnia~~ termodynamikę ~~trzeba~~ porzucić. ~~Ułatwiłoby to studyowanie fizyki słuchaczom uniwersytetu, ale~~ utrudniłoby zrozumienie zjawisk przyrody. ~~Wszak~~ pierwsza zasada, t. zw. zasada zachowania energji, dotychczas pozostaje nienaruszona; ~~a także owa~~ druga zasada, zasada entropji, o którą tutaj ~~nam~~ chodzi, wprawdzie się zachwiała jako ścisły dogmat naukowy, ale ~~przecież~~ zacho~~wuje~~ swoją wartość jako prawidło ważne z ogromnem przybliżeniem w codziennej ~~naszej~~ praktyce a odznaczające się ~~przy tem ogromną~~ prostotą, w przeciwieństwie do niezmiernie skomplikowanych ~~zawsze~~ rozważań teorji atomistyczno-kinetycznej. Tylko tam, gdzie występują sprzeczności między jednym a drugim punktem widzenia, ~~tam~~ pierwszeństwo należy się atomistyce. ~~Ten wynik jest trwałą zdobyczą ostatniego dziesięciolecia~~.

Wspomnę krótko ~~jeszcze~~ o inn~~ego rodzaju~~ dowodzie doświadczalnym wykazującym ~~niemal oczywiście~~ słuszność zasadniczego założenia teorji kinetycznej ~~: o bezustannym ruchu drobin i atomów~~. Dowodu tego dostarczyła analiza widmowa. Wyobraźmy sobie, że ~~jakiś~~ gaz jednoatomowy, n. p. argon albo hel pobudzamy do świecenia przy pomocy rozbrojeń elektrycznych w rurce Geisslera. Jeżeli gaz jest dostatecznie rozrzedzony, tak że atomy ~~i drobiny, co w tym przypadku jest to samo,~~ na siebie wzajemnie nie wpływają, ~~to~~ można przewi-

50

dzieć, bez względu na szczegółowy mechanizm powodujący promieniowanie, że każdy atom będzie wysyłał światło określonej długości fali, odpowiadającej okresowi drgań własnych, w jego wnętrzu się odbywających. Takich drgań może być więcej rodzajów, to znaczy, że w widmie zobaczymy szereg linij jasnych, ale każda z nich powinna reprezentować nam światło ściśle monochromatyczne, jednobarwne. Byłoby to słuszne, gdyby atomy, wysyłające owe fale, były nieruchome. W rzeczywistości jednak drobiny gazu posiadają prędkości rzędu kilkaset metrów na sekundę w temperaturze zwykłej. W myśl znanej (zwłaszcza w akustyce) zasady Dopplera, ruch ten musi wywołać zmianę barwy światła.

Te zatem drobiny, które się ku nam zbliżają, będą wysyłały fale krótsze, odchylone ku fiołkowemu końcowi widma; te, które się oddalają, będą świecić światłem więcej czerwonem. W całości zatem, zamiast matematycznie ostrej linji widmowej, musi powstać smuga o pewnej szerokości; a szerokość ta będzie bezpośrednią miarą dla prędkości drobin gazowych. Za pomocą tej samej metody zatem, która nam dozwala zmierzyć spektroskopowo prędkości gwiazd ku nam się zbliżających, lub od nas się oddalających, możemy wyznaczyć prędkości drobin gazowych. Myśl tę już niegdyś amerykański fizyk Michelson usiłował urzeczywistnić, ale wyniki nie były całkiem zadawalające, gdyż nie znano wówczas jeszcze owych gazów jednoatomowych, a przy użyciu gazów wieloatomowych występują komplikacye, zapewne wskutek oddziaływania atomów, złączonych w drobinę.

W ostatnim roku jednak francuscy fizycy Buisson i Fabry wykonali pomiary precyzyjne nad widmem helu, neonu i kryptonu i stwierdzili ściśłą zgodność prędkości drobinowych, tym sposobem empirycznie oznaczonych z temi wartościami, które nam podaje teorya kinetyczna gazów, na podstawie rozważań teoretycznych.

Dotychczas rozważałem właściwie tylko jedną, co prawda najważniejszą fazę odrodzenia atomistyki, t. j. usunięcie wątpliwości i wzmocnienie jej podstaw, które się dokonało w ostatnich czasach, a dokonało się, nawiasem mówiąc, z siłą tak przekonywującą, że kilka lat temu także długoletni wróg atomistyki, Ostwald, się do niej nawrócił, i że dziś wogóle już

trudno znaleźć na tem polu jakichś oponentów. Zaznaczyłem jednak już poprzednio, że z tem odrodzeniem połączyło się pewne przeistoczenie atomistyki, a nawet całej fizyki, które określiłem słowem „elektryzacya".

Słowo to przypomina nam pewien przewrót dokonywający się dzisiaj jeszcze w technice. Kto kilka lat temu jeździł np. w Londynie na owej wiecznie brudnej, cuchnącym dymem przepełnionej kolei podziemnej, underground railway, dozna przyjemnego rozczarowania, gdy dzisiaj tam się wybierze. Stacye, tory kolejowe pozostały niezmienione, ale na miejscu lokomotyw parowych zaprowadzono elektromotory; na tem czystość, wygoda i szybkość komunikacyi zyskała ogromnie. Podobnie i w nauce dzisiaj dawne teorye i dawne pojęcia mechaniczne zastępujemy stopniowo teoryami i pojęciami z dziedziny elektryczności. Nie jest to jednak wyłącznie rzecz upodobania, lecz jesteśmy do tego zmuszeni siłą faktów, chcąc utrzymać w życiu naczelną zasadę badania naukowego: zasadę jednolitości nauki.

Początek zrobiła optyka. Dawna teorya undulacyjna, pojmująca światło jako drgania sprężystego eteru, jest definitywnie pogrzebana. Dzisiaj optyka jest tylko drobnym poddziałem pewnej kategoryi zjawisk elektrycznych, zwanych drganiami i falami elektromagnetycznemi.

Otóż w związku z nią, a także niezależnie od niej, w dziedzinie rozbrojeń elektrycznych, rozwinęła się teorya elektronowa, która do tego jest powołana, żeby z czasem wchłonąć w siebie całą dawną atomistykę, a zatem całą fizykę materyi. Teorya elektronowa, jest to (krótko mówiąc) atomistyka elektryczności. Zrodziła się o tyle później niż atomistyka materyi, ale podczas tych kilkunastu lat swego istnienia rozwinęła się tak nadzwyczajnie, że pod wielu względami przewyższyła swój pierwowzór.

Rozwój ten zawdzięcza przedewszystkiem tej okoliczności, że metody mierzenia w dziedzinie elektryczności są o tyle czulsze i doskonalsze niż w zakresie zwykłej mechaniki i termiki. Najdobitniej wykazuje to fakt, że dzisiaj (metodą Millikana) potrafimy bezpośrednio mierzyć nabój pojedynczych elektronów, to jest owych cząstek, z których się składa elektryczność ujemna; jesteśmy w stanie wykazać naocznie, że

ilości elektryczności występują jedynie jako wielokrotności owych elektronów. Tymczasem o tem naturalnie ani marzyć nie można, żeby móc zważyć pojedyncze atomy materyi nieelektrycznej; wszystkie dowody atomistyki materyalnej są natury więcej pośredniej.

Byłoby to rzeczą bardzo nęcącą dla mnie, zapuścić się w bliższe roztrząsania tych cudownych doświadczeń, zapomocą których możemy liczyć pojedyncze elektrony, oznaczyć ich nabój, fotografować drogi, które one zakreślają i t. d., ale po pierwsze czas na to nie pozwala, a po drugie przedmiot ten łączy się ściśle z działem zjawisk promieniotwórczości, któremu i tak jeszcze szereg wykładów w tym cyklu będzie poświęcony.

Poruszę zatem tylko krótko kwestyę wyników ostatecznych: o ile teorya elektronowa wpłynęła na zmianę poglądów dawnej atomistyki.

Otóż wszystkie rozumowania dawnej teoryi kinetycznej, które polegały na samem przyjęciu, że materya posiada strukturę atomistyczną, zachowują swoją wartość w niezmienionej formie. Porównywałem kiedyś tę transformacyę z przeistoczeniem kawałka drzewa skamieniałego, które swój wygląd i strukturę wewnętrzną zachowało niemal nietkniętą, mimo, że wszelkie organiczne substancye, z których drzewo się składało, zostały zastąpione przez krzemionkę. Wogóle teorya elektronowa nie jest rewolucyą, nie jest przeciwstawieniem atomistyki. Przeciwnie, jest to jej wydoskonalenie i wykończenie.

Wydoskonalono przedewszystkiem, i to w sposób zasadniczy, nasze poglądy na istotę atomów samych. Jak naiwne wydają nam się dzisiaj poglądy dawnych atomistów, z przed kilkudziesięciu laty, używających pojęcia atomu w sensie dosłownym i wyobrażających sobie atomy jako ziarna, jako niepodzielne kawałki materyi. Co prawda, już dawno przed teoryą elektronową pierwszorzędni fizycy byli o tem przekonani, że atomy muszą posiadać zawiłą wewnętrzną strukturę, gdyż inaczej nie możnaby sobie wytłumaczyć skomplikowanego widma, złożonego z wielkiej liczby linij widmowych, jakie nawet takie gazy jednoatomowe, jak np. para rtęci, wysyłają. Dzisiaj wiemy, posiadamy na to niezbite dowody, że takie atomy składają się z wielkiej liczby elektronów ujemnych i z odpowiedniej ilości elektryczności dodatniej. Zdaje się rze-

czą niemal zupełnie pewną, że wogóle to co nazywamy materyą, jest tylko połączeniem — jakoby związkiem chemicznym — elektronów ujemnych i dodatnich; zdaje się również rzeczą pewną, że to, co nazywamy bezwładnością materyi, jest tylko objawem sił elektromagnetycznych.

Jaka jest struktura owego związku elektronowego, który nazywamy atomem, tę kwestyę usiłowały rozwiązać nadzwyczajnie ciekawe spekulacye Thomsona, Rutherforda, Wilsona, Starka i innych; są to jednak dopiero pierwsze próby na tem polu, i nie możemy się spodziewać skonstruowania jakiejś teoryi racyonalnej, dopóki nie będziemy posiadali dokładniejszych informacyj co do istoty elektryczności dodatniej. To jest jeden z owych punktów samej teoryi elektronowej, które dotychczas nie zostały należycie wyświetlone. Wogóle w samych podstawach teoryi elektronowej jeszcze istnieją pewne braki, potrzeba jeszcze pewnych uzupełnień, np. co do struktury elektronów samych. Dopóki one nie są wypełnione, „elektryzacya" fizyki nie jest dokończona, jakkolwiek w głównych zarysach już została dokonana.

Z poznaniem złożoności i podzielności atomów łączy się ściśle inne odkrycie o równie zasadniczem znaczeniu: poznanie ich zmienności. Wiemy dzisiaj, że atomy niektórych pierwiastków — a prawdopodobnie wszystkich — z czasem się rozpadają, tracąc kolejno elektrony ujemne i dodatnie. Wszak wszystkie zjawiska promieniotwórczości polegają na tych przemianach; wszak Ramsay, Curie, Dewar i inni stwierdzili niezbicie, że pierwiastek rad z czasem się przetwarza kolejno na inne pierwiastki promieniotwórcze, między innemi na polon, oraz na hel, gaz jednoatomowy o ciężarze atomowym 4. Niedawno temu poszła przez gazety sensacyjna wiadomość jakoby Ramsayowi udało się dokonać także odwrotnych transformacyi, syntezy cięższych pierwiastków z wodoru i helu. Nie chcę bynajmniej twierdzić, żeby to miało być niemożliwe, ale dopóki się nie pojawią wiadomości więcej autentyczne, sądzę że wypada powątpiewać o prawdziwości tych pogłosek, gdyż dotychczas mimo wszelkich prób wogóle żadnego czynnika nie poznano, któryby wpływał na szybkość transformacyi pierwiastków promieniotwórczych. Odbywa się ona z określoną prędkością dla każdego rodzaju atomów, bez-

względu na temperaturę, ciśnienie, sposób połączenia chemicznego itd., trudno wobec tego przypuścić, żeby się udało odwrócić przebieg transformacyi, dopóki nie potrafimy wpłynąć na jego prędkość.

Bez względu jednak, czy i kiedy się uda urzeczywistnieć dawne marzenie alchemistów: dowolną transformacyę pierwiastków, sam fakt, że świat naukowy dzisiaj takie problemy na seryo dyskutuje, jest nadzwyczajnie charakterystyczny. Niespodziewane odkrycia, sprawdzenie doświadczalne najśmielszych spekulacyj na polu atomistyki i elektroniki, dały potężny impuls fantazyi naukowej. Świeższy i śmielszy prąd panuje dziś w nauce, niż przed dwudziestu jeszcze laty, kiedy tchórzliwie ostrożni klasycy nauki nam wciąż powtarzali: Trzymajcie się równań empirycznych, wara od spekulacyi! Nastał okres „romantyzmu naukowego“.

Jakiż jednak jest cel ostateczny tych wszystkich spekulacyj atomistyczno-elektronowych? Otóż cel, który się w ostatnich latach coraz wyraźniej zarysował, jest stworzenie jednolitej teoryi, obejmującej całokształt zjawisk fizyczno-chemicznych, łącznie z krystalografią.

Narzekają ludzie, zwłaszcza laicy, często na przesadną specyalizacyę w nauce dzisiejszej. Historya atomistyki jest doskonałym dowodem, jak konieczna jest specyalizacya, jak drobiazgowe, precyzyjne zbadanie pewnych pozornie znikomych zjawisk, jak np. owych ruchów Browna, ruchów drobnych cząstek naelektryzowanych i tym podobnych zjawisk mikroskopijnych, umożliwiło wyciągnięcie wniosków ogólnej doniosłości, za pomocą których dążymy do syntezy fizyki i chemii. Tego zaś laicy nie widzą, że ku takiej właśnie syntezie dzisiejsza nauka zbliża się szybkim krokiem. Dziś już wcale nie potrafimy podać definicyi oddzielającej obręb fizyki od chemii. Zwłaszcza aspiracye teoryi elektronowej są bardzo wysokie. Chce ona objąć nietylko całokształt zjawisk — elektrycznych, mechanicznych i cieplnych — ale również coraz energiczniejsze ataki dopuszcza do głównych problemów właściwej chemii. Zwłaszcza ciekawe są usiłowania wyjaśnienia zjawiska wartościowości chemicznej na podstawie elektronowej. Jakkolwiek definitywnego skutku jeszcze nie odniosły, chyba wątpić nie można, że w niedalekiej przyszłości elektronika da nam w rękę

ten klucz do zrozumienia pozornie bezładnego chaosu zjawisk chemicznych.

Ciekawe przeżywamy czasy w nauce.

Zburzyliśmy w ciągu lat kilku cały szereg dogmatów, ubóstwianych przez uczonych dawnych generacyj. Bezwzględna ścisłość praw termodynamiki, niezmienność i niepodzielność atomów, matematyczna ścisłość zasad mechaniki newtonowskiej, i nawet tradycyjne pojęcia czasu i przestrzeni — wszystkie te dogmaty runęły. Natomiast za podstawę uważamy dzisiaj zasadnicze równania elektromagnetycznej teoryi Maxwella, albo raczej elektronowej teoryi Lorentza i na tej podstawie oddajemy się spekulacyom co do wewnętrzej struktury atomów.

Niema dzisiaj problemu za wysokiego, niema teoryi za śmiałej, niema hypotezy zbyt dziwacznej, wolno iść jakąbądź drogą, o ile nas doprowadzi do wyników nowych, lub dawne pozwala ująć w całość z ogólniejszego punktu widzenia.

Czy jednak ten spekulatywny prąd nie sprowadzi nauki na jakieś bezdroża? Istnieje jedna cecha charakterystyczna dla nauki dzisiejszej, która ją uchroni od pustych, fantastycznych spekulacyj, jakie w dawniejszych epokach czasami naukę chwastami pokrywały: to jest jej ścisłość matematyczna. Słusznie powiedział Lagrange: „Les mathématiques n'ont point des signes pour exprimer les notions confuses“. Matematyka nie posiada nawet znaków do wyrażenia niejasnych, zagmatwanych pojęć.

Przełożyć nasze argumentacye na język matematyczny, to jest jedyna kontrola ich ścisłej logiczności. Porównać wyniki z precyzyjnemi pomiarami doświadczalnemi, to jest jedyna kontrola prawdziwości naszych teoryj. Wymagania nauki pod względem matematycznej ścisłości i doświadczalnej precyzyi wzrastają bezustannie; i to napełnia nas wiarą w trwałą wartość naszej nauki, mimo pozornych przewrotów w niej się odbywających.

Niestety w tym krótkim, pobieżnym przeglądzie najważniejszych postępów, dokonanych na polu atomistyki, musiałem się obejść bez używania symbolów matematycznych; i dlatego też obawiam się, że właśnie pozostanie wrażenie niejasne, zagmatwane. Dlatego też kończę prośbą, żebyście Panowie nie

wierzyli ~~moim~~ gołosłownym twierdzeniom, lecz starali się poznać właściwy materyał dowodowy, to jest teorye matematyczne atomistyki i elektroniki oraz wyniki doświadczalne, z nowszej literatury naukowej. To jedynie może trwałą przynieść korzyść; ~~i tylko wtedy~~ spełniłem zadanie, które sobie postawiłem, jeżeli udało mi się zachęcić Panów do bliższego studyowania tego przedmiotu.

~~RÉSUMÉ.~~

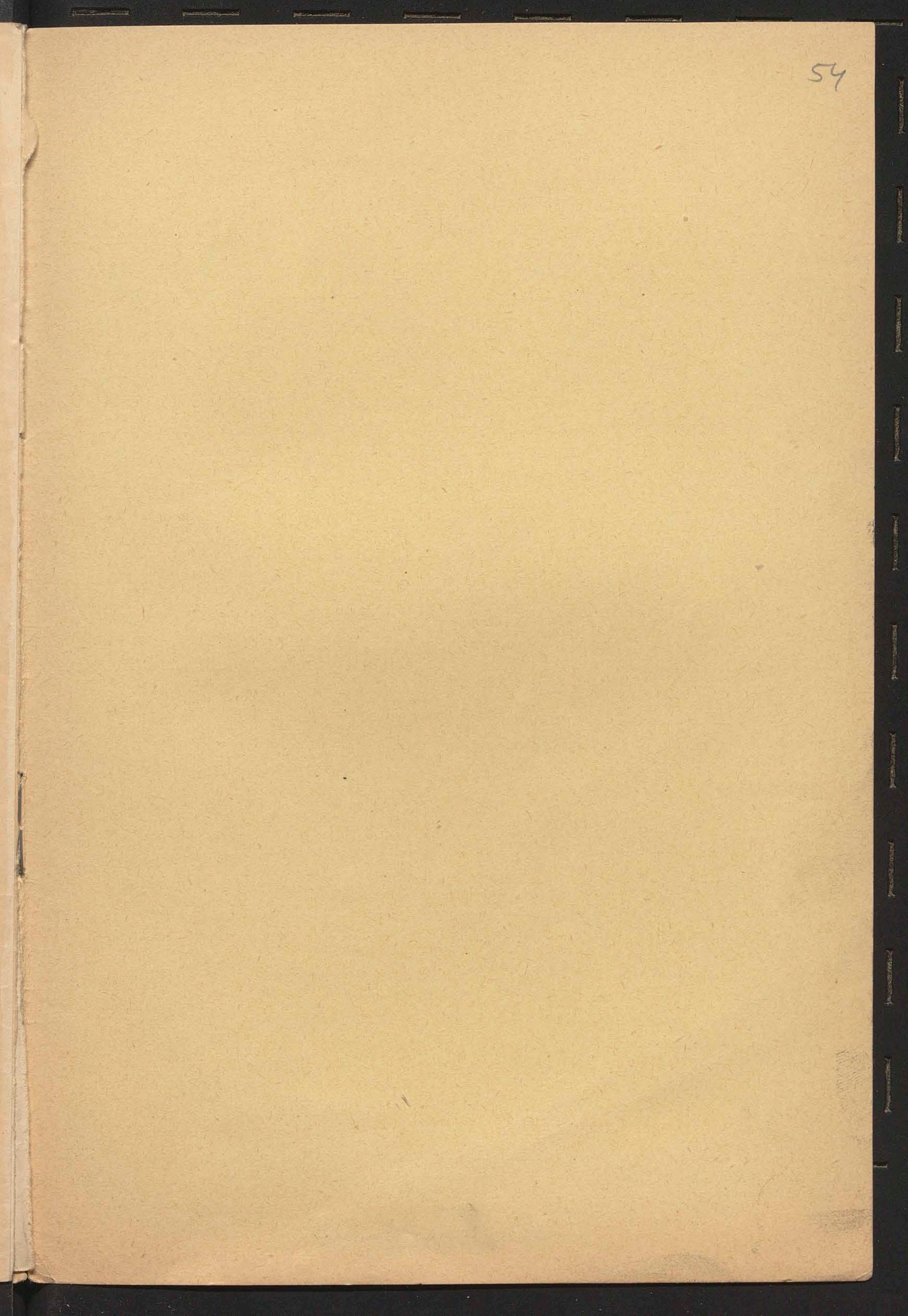
Les tendances les plus prononcées dans le développemen actuel de la physique moderne sont la renaissance de l'atomistique et l'„électrification" de la physique; elles s'associent à un mouvement spéculatif, après une période de scepticisme phénoménologique.

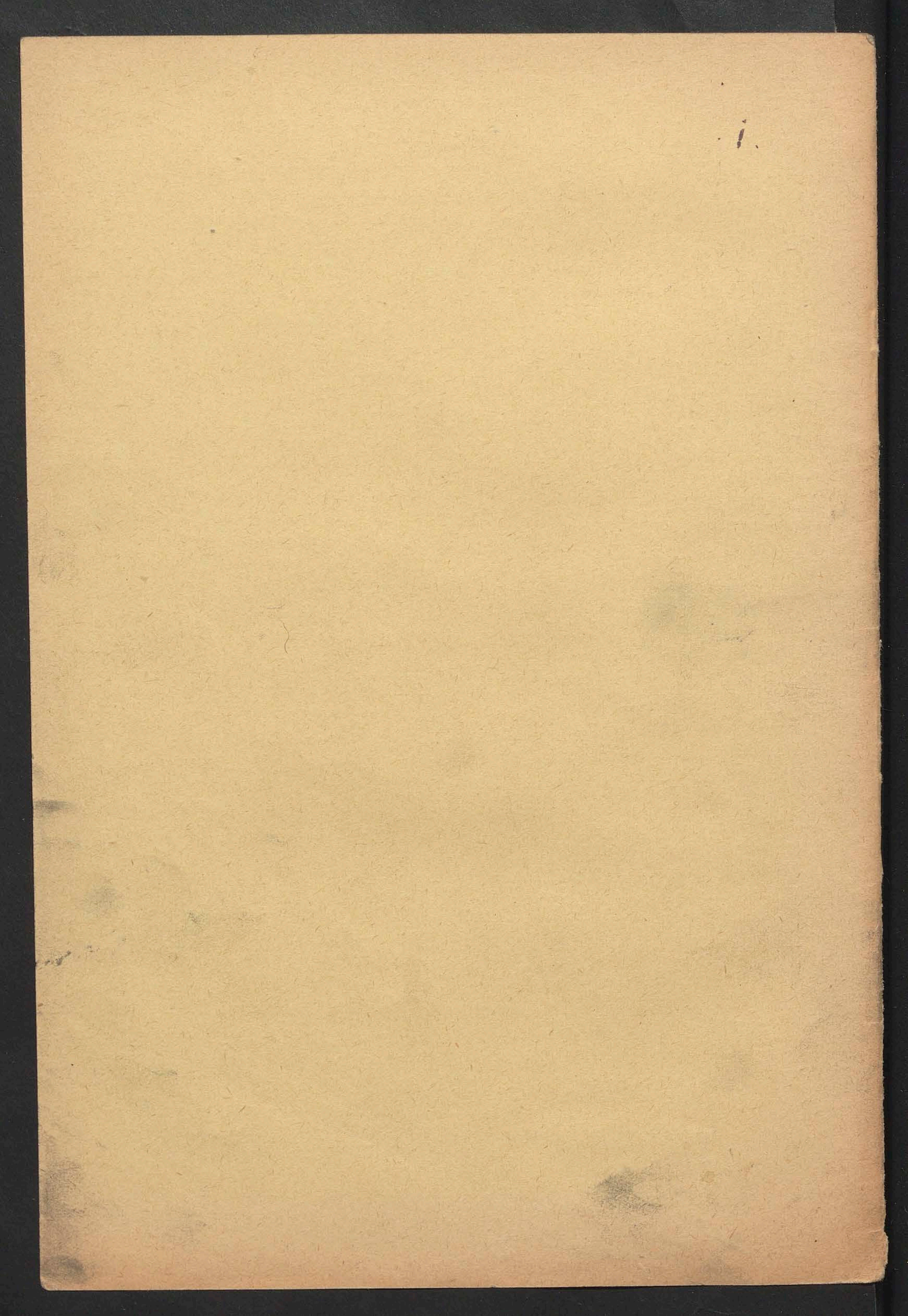
Aujourdhui nous savons que les objections soulevées autrefois, par les partisants de la thermodynamique dogmatique, contre la théorie cinétique, sont sans fondement. Les phénomènes du mouvement Brownien, de l'opalescence des gaz etc. vérifient la théorie cinétique, même dans ces détails ou elle mène à des conclusions contradictoires à la thermodynamique. Aussi l'irreversibilité des phénomènes thermodynamiques n'est qu'apparente; elle est engendrée par la courte durée de l'observation et par l'invraisemblance de l'état primitif.

La théorie électronique est un perfectionnement de la théorie atomistique ancienne: elle traduit les conceptions mécaniques en langage électrique. Aujourdhui elle s'appuye sur la vérification directe de la structure discontinue de l'électricité, donnée par Millikan, et on a raison d'espérer qu'elle revélera un jour le mécanisme des forces moléculaires et même des actions chimiques.

Les spéculations de ce genre dans la physique moderne sont très hardies parfois, mais elles sont légitimes, pourvu qu'on les contrôle par des raisonnements mathématiques et des expériences précises.

„L'Analyse mathématique n'a point de signes pour exprimer les notions confuses"

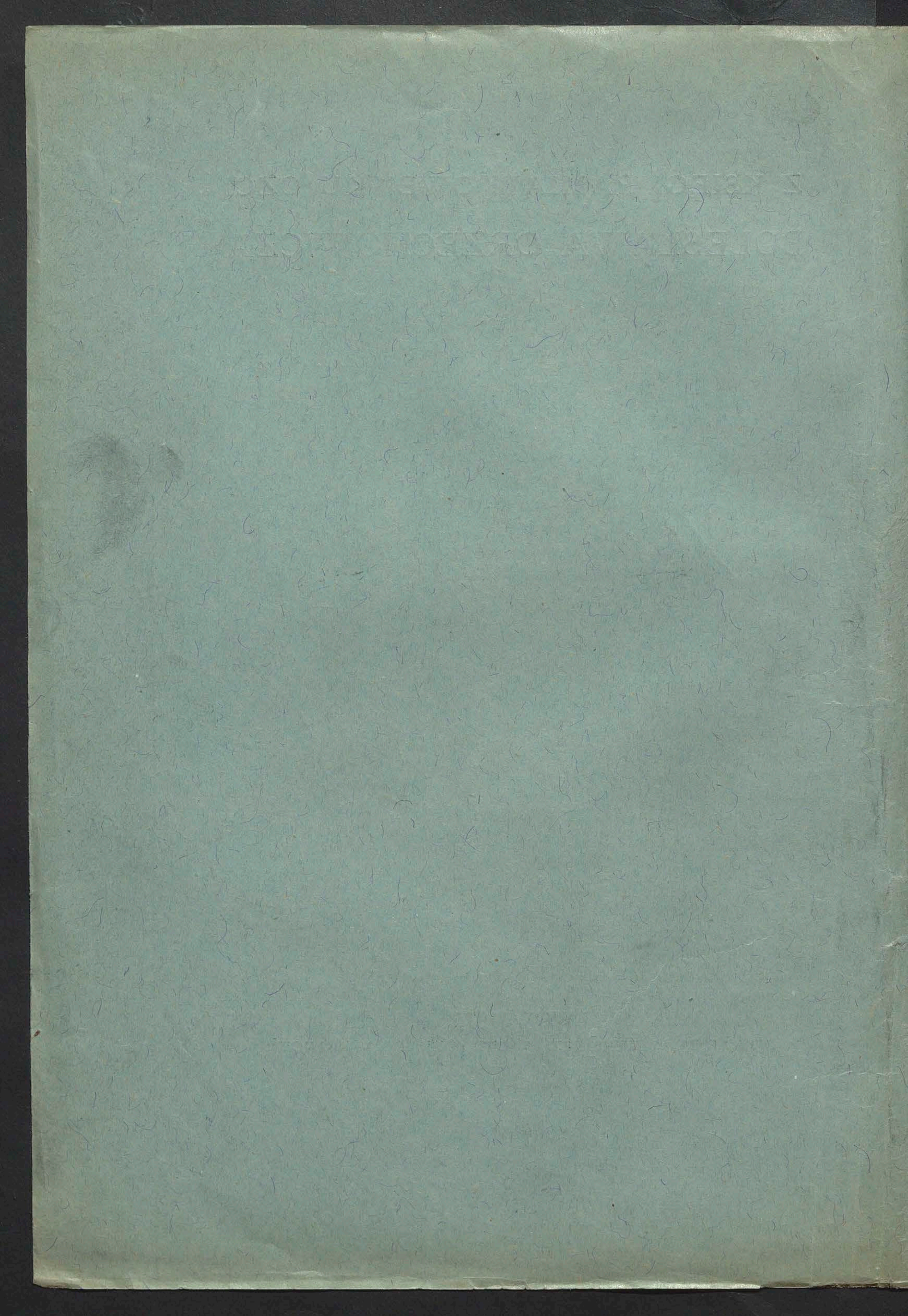




Z KSIĘGI PAMIĄTKOWEJ KU CZCI

BOLESŁAWA ORZECHOWICZA

LWÓW 1916.
DRUKARNIA UNIWERSYTETU JAGIELLOŃSKIEGO W KRAKOWIE.



56

Księga Pamiątkowa ku czci Bolesława Orzechowicza, wydana nakładem Towarzystwa dla popierania nauki polskiej; tom II; we Lwowie 1916, str. 445–458.

VI.

Uwagi o pojęciu przypadku w zjawiskach fizycznych.

~~Napisał~~

~~Maryan Smoluchowski.~~

I. Rachunek prawdopodobieństwa, który początkowo w fizyce stosunkowo podrzędną rolę odgrywał, w postaci »teoryi błędów«, służącej do najkorzystniejszego wyzyskania materyału liczbowego pomiarów doświadczalnych, dzisiaj coraz wyraźniej wysuwa się na pierwszy plan, jako metoda matematyczna najbardziej odpowiednia dla celów tej nauki. Nie tylko teorya kinetyczna materyi, ale tak samo elektronika, teorya promieniowania, nauka o promieniotwórczości, posługują się w zasadniczych swych badaniach tą właśnie metodą.

Dziwnem to może się wydawać z dwóch powodów. ~~Wszak~~ Przedmiotem fizyki są prawa przyrody, a prawidłowość, determinizm zdaje się być antytezą do przypadkowości, indeterminizmu, pojęcia podstawowego dla rozważań z dziedziny prawdopodobieństwa. Jak w ogóle może się zrodzić »przypadek« w obrębie zjawisk, przebiegających w myśl niezmiennych praw przyrody? ~~A po drugie~~: Jeżeli istotnie przypadek nieobliczalny odgrywa pewną rolę w zjawiskach fizyki, jak można w takim razie przewidywać przebieg tych zjawisk?

zaś

Powtóre

Pytania w tej ~~formie~~ są może zbyt ogólnikowo sformułowane. Matematyk będzie wolał określić problem w ściślejszy sposób: ~~Pod~~ jakich warunkach zjawisko y, wywołane przez prawidłowo działającą przyczynę x, można uważać za przypadkowe? W jakich razach przyczyny x, przypadkowo działające, mogą dać wynik prawidłowy i określony, y?

postaci

w

W kwestyach tych, posiadających zasadnicze znaczenie dla zastosowania teoryi prawdopodobieństwa, kierujemy się dzisiaj tylko

pewnego rodzaju intuicją; dalecy jesteśmy od ogólnego i ścisłego sprecyzowania warunków, określających różne przypadki, które się nadają do traktowania z punktu widzenia teoryi prawdopodobieństwa. Także uwagi niniejsze nie są oczywiście odpowiedzią wyczerpującą, tylko mają być przyczynkiem do ściślejszego sprecyzowania myśli, wygłaszanych przez różnych autorów, a zwłaszcza Poincaré'go [1], co do tego przedmiotu.

II. Jest to powiedzenie bardzo słuszne i często słyszane: że słowo »przypadek« jest tylko wyrazem naszej nieznajomości przyczyn pewnego zjawiska; że jakaś istota wszechwiedząca nie posługiwałaby się wcale tem pojęciem. Tak samo i w fizyce zwykle mowa jest o przypadku, jeżeli wprawdzie znamy prawa zasadnicze jakiegoś zjawiska, ale nie znamy wszystkich wielkości, określających stan początkowy systemu badanego, tak że nie możemy przyszłości jego przewidzieć z pewnością matematyczną.

Sama subjektywna nieznajomość owych warunków początkowych nie daje nam jednak podstaw dostatecznych do jakiegokolwiek obliczenia; musimy jeszcze koniecznie mieć pewne dalsze wskazówki, ażeby w ogóle mogła być mowa o prawdopodobieństwie i ażeby nasze odnośne spekulacye miały jakąś wartość objektywną. Objaśni to najlepiej przykład specyalny.

Wyobraźmy sobie, że artylerzysta z pewnego punktu wyrzuca pocisk z prędkością c, pod takim kątem elewacyi α, aby trafić punkt, znajdujący się w odległości x. O ile chodzi nam o zadanie teoretyczne, w którem wykluczamy opór powietrza, przypadkowe niedokładności ustawienia i t. p., łatwo możemy obliczyć wielkość x jako funkcyę owych danych początkowych $x = f(c, \alpha)$, lub naodwrót $\alpha = F(x, c)$; jesteśmy wówczas pewni, że punkt x zostanie trafiony przy użyciu obliczonej elewacyi; jesteśmy również pewni, że, przy zastosowaniu elewacyi zawartej między granicami α_1 i α_2, jakiś punkt celu, rozciągającego się od x_1 do x_2 zostanie trafiony.

Jeżeli zaś ów artylerzysta nie posiada danych, wystarczających do przewidzenia wyniku (np. nie zna prędkości początkowej c) i obliczyć nie potrafi właściwego kąta elewacyi α, musi wystrzelić

[1] Poincaré H., Calcul des Probabilités. 2 édition, Paris 1912. Wstęp jest nadzwyczajnie zajmujący, także i dla niefachowców. Czytelnik zauważy jednak, że nie we wszystkiem podzielam zapatrywania tego autora.

»na oślep«. Może powie się w potocznym języku, że zależy to wówczas od przypadku, czy cel (sięgający od x_1 do x_2) zostanie trafiony, ale co do prawdopodobieństwa tego zdarzenia nic wogóle powiedzieć nie możemy, dopóki nie posiadamy jakichś dalszych wskazówek co do sposobu, jak artylerzysta postąpi przy ustawieniu działa. Jest to może pole, nadające się do spekulacyj psychologicznych, ale nie do obliczeń fizycznych. Przypadek, w tem znaczeniu jest zaprzeczeniem racyonalnej prawidłowości i musi być wykluczony z nauki ścisłej.

III. Natomiast zadanie nasze otrzymuje od razu znaczenie całkiem określone, przypadek staje się przystępny metodom rachunkowym, z chwilą kiedy wprowadzamy np. założenie, że wszystkie możliwe kąty α są równie prawdopodobne. Wtedy oczywiście prawdopodobieństwo trafienia celu $(x_2 - x_1)$ będzie wynosić $\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2\pi}$ to znaczy, że przy wielokrotnem powtórzeniu doświadczenia taki się okaże procent wystrzałów celnych.

Co prawda, że w takim razie prawdopodobieństwo skutku zredukowaliśmy po prostu do prawdopodobieństwa przyczyny, która koniecznie ów skutek za sobą pociąga. Trzeba się wówczas zastanowić nad dalszem pytaniem: jak urzeczywistnić w praktyce owo założenie jednakowego prawdopodobieństwa wszystkich kątów α? Sposób dający się łatwo pomyśleć (choć trudniej wykonać) polega na tem, żeby rurę działową wprowadzić w niezmiernie szybki ruch obrotowy koło osi poziomej, utwierdzonej w łożyskach lawety i żeby artylerzysta w jakim bądź momencie, np. za pomocą kontaktu elektrycznego, spowodował wystrzał.

Może wyobraźmy sobie zamiast tego podobny przykład, dający się łatwiej urzeczywistnić: strzelec strzela ku tarczy, zaopatrzonej na obwodzie czarnemi i białemi wycinkami, o jednakowych rozmiarach kątowych. Dopóki tarcza jest nieruchoma, można strzelbę tak starannie ustawić, dobierając równocześnie stosownie małą odległość, że napewno liczyć można na trafienie wycinka czarnego; tak samo rzecz się będzie miała przy bardzo powolnym obrocie tarczy. Przy szybszym obrocie prawdopodobieństwo zależeć będzie od wprawy strzelca; wreszcie, jeżeli prędkość obrotu będzie bardzo wielka, wówczas zależeć to będzie od czystego przypadku, czy trafiony zostanie wycinek czarny lub biały; prawdopodobieństwo każdego z tych wypadków będzie wynosić $\frac{1}{2}$, bez względu na zrę-

czność strzelca. Rozumiemy to wszystko bez żadnego rachunku; przykład jest tak prosty, że wydaje się banalnym, lecz właśnie zanalizowanie dokładniejsze takich najprostszych przykładów najlepiej daje nam poznać rysy charakterystyczne.

IV. Dla czego mówimy, że wynik wystrzału zależy od przypadku w razie niezmiernie szybkiego obrotu? Bo warunkiem osiągnięcia wyniku korzystnego albo niekorzystnego jest nadzwyczajnie dokładne uchwycenie odpowiedniego momentu, kiedy należy wypalić, bez porównania dokładniejsze, niż tego dokonać potrafi zręczność ludzka. Jeżeli n. p. tarcza posiada 24 wycinków i wykonuje 100 obrotów na sekundę, zależy to od różnicy czasu $\Delta t = \frac{1}{2400}$ sekundy w chwili wystrzału, czy wynik będzie korzystny lub nie. Trudno ocenić szybkość decyzyi i wprowadzenia jej w czyn ze strony człowieka, ale to jest chyba pewne, że nawet przy wystrzale »na komendę« u najzręczniejszego osobnika panować będą nie dające się opanować przypadkowe zboczenia $\tau = \frac{1}{20}$ sekundy. Na taki czas przypada już nadzwyczaj wielka liczba przypadków korzystnych oraz taka sama liczba przypadków niekorzystnych.

Jako cechy charakterystyczne, które następnie również i w innych tego rodzaju przykładach napotkamy, podkreślić trzeba zatem następujące okoliczności:

1. Nadzwyczajnie mała różnica warunków początkowych (zmiennej t) rozstrzyga o tem, czy wynik będzie korzystny lub niekorzystny. Mała przyczyna, wielki skutek, oto co przedewszystkiem charakteryzuje »przypadek« w zjawiskach fizycznych.

Cóż znaczy jednak słowo »mała« różnica? Mały lub duży, są to pojęcia względne. Otóż rozumiemy to słowo w znaczeniu: mały, w porównaniu do obrębem »niedającej się opanować zmienności« warunków początkowych. Wszak o przypadku tylko wówczas może być mowa, jeżeli warunki początkowe (czas t) mogą się wahać w sposób nieokreślony, w obrębie pewnych, zazwyczaj niewielkich różnic.

2. Wynik korzystny (i tak samo wynik niekorzystny) da się osiągnąć przez wielką liczbę różnych możliwych konstelacyj warunków początkowych, w obrębie przypadkowej zmienności tychże. Można też powiedzieć, że ten sam skutek zostaje wywołany przez jakąbądź z pomiędzy wielkiej liczby różnych przyczyn. Wycinek

czarny zostanie trafiony, jeżeli wystrzał nastąpił albo w obrębie czasu t do $t + \Delta t$, albo $t + 2\,\Delta t$ do $t + 3\,\Delta t$, albo $t + 4\,\Delta t$ do $t + 5\,\Delta t$, i t. d.

Wreszcie wprowadzamy, po części nieświadomie, jeszcze jedno założenie do powyższego przykładu, a mianowicie że:

3. w obrębie przypadkowej zmienności warunków początkowych prawdopodobieństwo pewnej ich wartości jest określone przez funkcję regularną, nie posiadającą dużo maksymów i minimów. Jeżeli pobudka pierwotna całego zjawiska wychodzi od człowieka, jak w powyższym przykładzie, można to łatwo zrozumieć, że prawdopodobieństwo pociągnięcia za cyngiel w chwili $t + n\,\Delta t$ będzie prawie to samo, jak w chwili $t + (n + 1)\,\Delta t$ i t. d., ale leży w tem pewna hypoteza. Gdyby np. tarcza wirująca połączona była z kontaktem elektrycznym lub z jakiemś urządzeniem mechanicznem, łatwo możnaby rzecz tak urządzić, ażeby prawdopodobieństwo wystrzelenia w »korzystnych« interwałach czasu było większe, niż w niekorzystnych, mimo krótkości tych interwałów. Właśnie ten szczegół nas jednak w tym przykładzie zadowolić nie może, że prawdopodobieństwo przyczyny pierwotnej, główną rolę w tym wypadku odgrywające, zależy w tak znacznym stopniu od psychologicznego lub fizyologicznego ustroju człowieka.

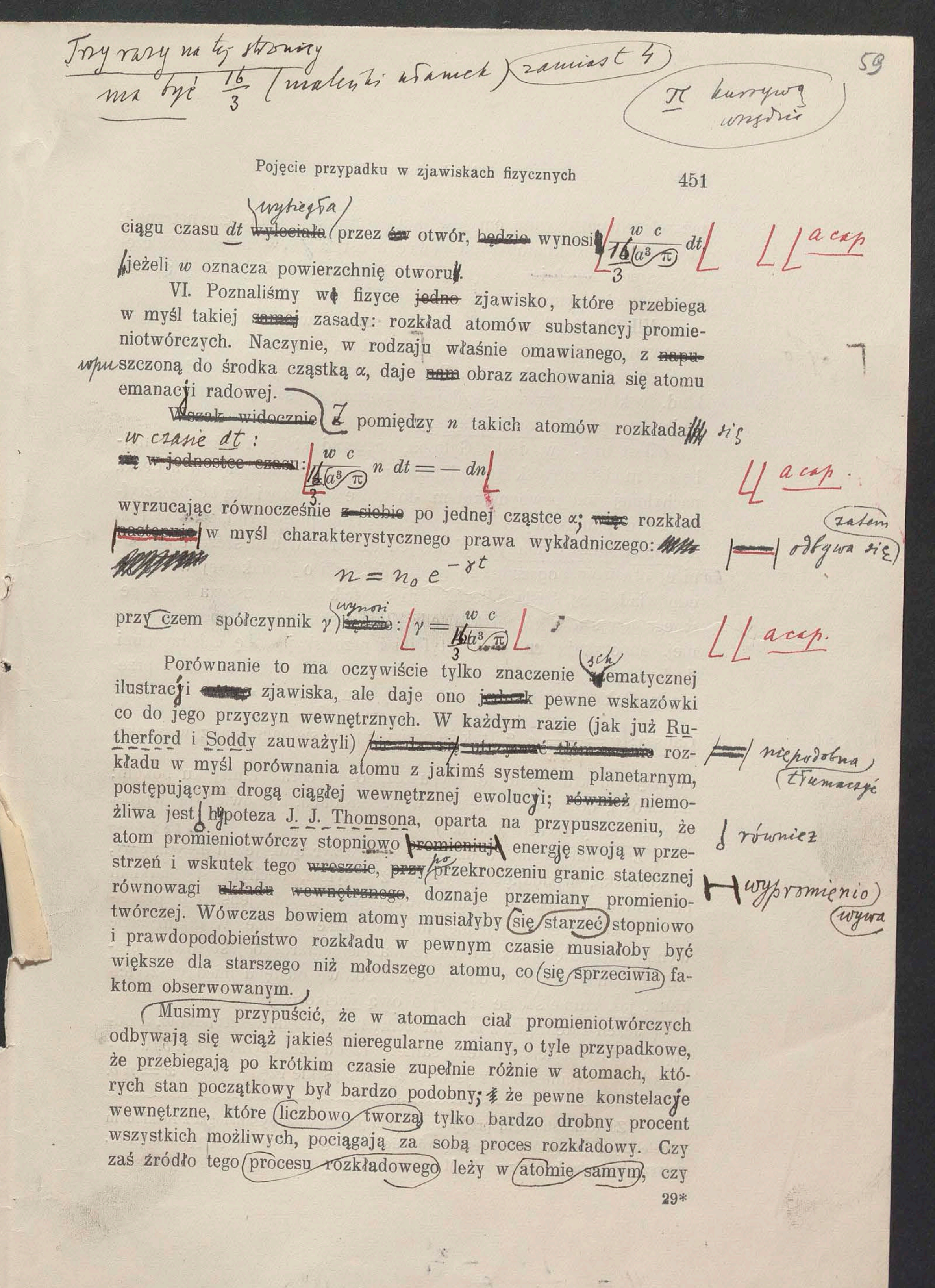
V. Dla tego może warto rozważyć jeszcze inny przykład, w którym ten rys występuje mniej wyraźnie i który dotyczy przyrządu, dającego prawdopodobieństwo ciągle niezmienne dla wydarzenia się pewnego skutku, w jakimbądź momencie czasu. Wyobraźmy sobie naczynie o kształcie mniej więcej kulistym, z małym otworkiem i o sztywnych, chropowatych ścianach, do którego wrzucamy bardzo drobną, idealnie sprężystą kuleczkę (najlepiej drobinę gazową) z pewną prędkością początkową c, w kierunku dowolnym i do pewnego stopnia przypadkowym. Rozważmy, jakie będzie prawdopodobieństwo, ażeby owa drobina po pewnym czasie, w skutek odbić od ścian, znów przez otwór na zewnątrz wyleciała, przy czem dla uproszczenia pominiemy zupełnie wpływ ciężkości. Drobina owa poruszać się będzie prostolinijnie ze stałą prędkością i tylko kierunek jej ruchu będzie się zmieniał, przy uderzeniach o ściany. Jeżeli kształt tych wraz ze wszystkiemi drobnemi wypukłościami (które stanowią ich chropowatość) jest dany, można sobie wykreślić drogę owej drobiny, która będzie się składała na ogół z wielkiej liczby prostolinijnych odcinków o najrozma-

itszych kierunkach; można obliczyć czas, który upłynie aż do chwili, kiedy drobina przez otwór wyjdzie na zewnątrz, jako funkcję jej początkowego położenia i kierunku jej ruchu początkowego. Długość tego czasu będzie w najwyższym stopniu zmienna, zależnie od owych dwóch warunków początkowych. Wszak już przy minimalnej zmianie kierunku pierwotnego drobina uderzy o część ściany inaczej pochyloną (z powodu owych drobnych »chropowatości«), co pociąga za sobą znaczną zmianę kierunku drogi po odbiciu. Każde odbicie działa zatem w myśl poprzednio wymienionej zasady (1): mała różnica warunków początkowych, duża różnica skutków. Jeżeli kierunek początkowy był w pewnych granicach przypadkowo dobrany, to kierunki i położenia drobiny po kilkakrotnem odbiciu podlegają przypadkowi w sposób wielokrotnie powiększony.

Także cechę (2) odnajdujemy w tym przykładzie, gdyż oczywiście najrozmaitsze kombinacje dróg początkowych będą dawały ten sam skutek końcowy (wyjście drobiny przez otwór w danym czasie). Zdaje się, że warunek (3) ma tutaj mniejsze znaczenie, o ile otwór jest tak mały, że całe zjawisko trwa dostatecznie długo[1]. Nie udało się w ogóle jeszcze dokonać szczegółowej analizy matematycznej tego przykładu, ale teorya kinetyczna gazów daje nam bardzo poważne powody do przypuszczenia, że w tego rodzaju przykładach prawdopodobieństwo kierunku i miejsca drobiny staje się przybliżenie jednostajnem po upływie dostatecznie długiego czasu. Znaczy to, że drobina z wyjątkiem pewnych przypadków osobliwych, z jednakowem prawdopodobieństwem w jakimbądź kierunku przestrzeni się porusza i o wszystkie elementy ścian owego naczynia przeciętnie równie często uderza, o ile tylko, od chwili nadania jej impulsu pierwotnego, upłynął pewien czas, zależny od rozkładu prawdopodobieństwa kierunku pierwotnego.

Jeżeli przyjmiemy ten wniosek za ważny, łatwo dojdziemy do wyniku następującego: prawdopodobieństwo, ażeby drobina w prze-

[1] W pewnych przypadkach, n. p. jeżeli ściany naczynia są idealnie gładkie i posiadają kształt dokładnie kulisty albo kształt prostościanu, twierdzenie o ustaleniu się równomiernego przypadkowego rozkładu prawdopodobieństwa nie będzie ważnem. Zdaje się, że założenie »chropowatości« ścian wyklucza możliwość takich przypadków osobliwych. Stopień chropowatości, oraz kształt naczynia muszą wpływać na długość czasu potrzebnego do ustalenia się rozkładu równomiernego.



ciągu czasu dt wyleciała przez ów otwór, będzie wynosić $\frac{w\,c}{4(a^3\pi)}\,dt$, jeżeli w oznacza powierzchnię otworu.

VI. Poznaliśmy w fizyce jedno zjawisko, które przebiega w myśl takiej samej zasady: rozkład atomów substancyj promieniotwórczych. Naczynie, w rodzaju właśnie omawianego, z napuszczoną do środka cząstką α, daje nam obraz zachowania się atomu emanacyi radowej. Wszak widocznie pomiędzy n takich atomów rozkłada się w jednostce czasu:

$$\frac{w\,c}{4(a^3\pi)}\,n\,dt = -\,dn$$

wyrzucając równocześnie z siebie po jednej cząstce α, więc rozkład następuje w myśl charakterystycznego prawa wykładniczego:

$$n = n_0\,e^{-\gamma t}$$

przy czem spółczynnik γ będzie: $\gamma = \frac{w\,c}{4(a^3\pi)}$.

Porównanie to ma oczywiście tylko znaczenie schematycznej ilustracyi [illegible] zjawiska, ale daje ono jednak pewne wskazówki co do jego przyczyn wewnętrznych. W każdym razie (jak już Rutherford i Soddy zauważyli) [illegible] rozkładu w myśl porównania atomu z jakimś systemem planetarnym, postępującym drogą ciągłej wewnętrznej ewolucyi; również niemożliwa jest hipoteza J. J. Thomsona, oparta na przypuszczeniu, że atom promieniotwórczy stopniowo promieniuje energię swoją w przestrzeń i wskutek tego wreszcie, przy przekroczeniu granic statecznej równowagi układu wewnętrznego, doznaje przemiany promieniotwórczej. Wówczas bowiem atomy musiałyby się starzeć stopniowo i prawdopodobieństwo rozkładu w pewnym czasie musiałoby być większe dla starszego niż młodszego atomu, co się sprzeciwia faktom obserwowanym.

Musimy przypuścić, że w atomach ciał promieniotwórczych odbywają się wciąż jakieś nieregularne zmiany, o tyle przypadkowe, że przebiegają po krótkim czasie zupełnie różnie w atomach, których stan początkowy był bardzo podobny, że pewne konstelacye wewnętrzne, które liczbowo tworzą tylko bardzo drobny procent wszystkich możliwych, pociągają za sobą proces rozkładowy. Czy zaś źródło tego procesu rozkładowego leży w atomie samym, czy

też właściwym czynnikiem jest jakieś promieniowanie zewnętrzne[1], które działa rozkładowo na pewne konstelacje, to jest dla rzeczy samej zupełnie obojętne, dopóki nie potrafimy wpłynąć na zmianę tych czynników.

VII. Przykład poprzedni jest w samej swej istocie zbyt skomplikowany, ażeby na nim można dokładnie, matematycznie zanalizować genezę przypadkowości. Dla tego rozważmy jeszcze jeden przykład, w którym łatwiej się daje rozpoznać właściwe źródło »przypadku« i sposób jego działania.

Jest to t. zw. deska Galtona, przyrząd, który uważam za najlepszy model zjawisk prawdopodobieństwa. Składa się on z deski, nachylonej pod pewnym kątem, do której wbito wielką liczbę sztyfcików, w jednakowych odstępach, rzędami poziomymi, w taki sposób, że naprzemian sztyfciki jednego rzędu umieszczone poniżej otworów poprzedniego rzędu. Kuleczki o jednakowej wielkości, odpowiadającej ściśle odległościom sztyfcików, wypuszcza się z pewnego miejsca górnej krawędzi tej deski, tak, że tocząc się po niej, napotykają sztyfciki i przeciskają się między nimi, dochodzą do dolnej krawędzi, gdzie wpadają w odpowiednie przegrody. Pokazuje się, że układają się tam w myśl »prawa błędów« Gaussa: $y = \frac{1}{\sqrt{\alpha\pi}} e^{-\frac{x^2}{\alpha}}$ tak że najwięcej ich się nagromadzi w środku, poniżej punktu skąd je wypuszczano, a coraz mniej ku bokom; wysokości, do których sięgają w przegrodach, odpowiadają wprost wartościom y owego wzoru.

Zrozumiemy łatwo działanie tego przyrządu, jeżeli przyjmiemy, że kuleczka, wpadając na jakibądź sztyfcik, odchyla się całkiem przypadkowo, tak że z jednakowem prawdopodobieństwem przeciśnie się koło niego po jednej lub po drugiej stronie. W takim razie wynikiem każdego takiego zdarzenia elementarnego jest równie prawdopodobnie przyrost odciętej x o połowę odstępu między sztyfcikami, jak zmniejszenie się jej o ową wielkość.

Jeżeli zatem przez m oznaczymy liczbę rzędów sztyfcików, a odstęp między sztyfcikami tego samego rzędu oznaczymy przez b, wówczas kula osiągnie po przejściu przez wszystkie rzędy odstęp $x = n\, b$,

[1] Za tem ostatniem przypuszczeniem przemawiałaby analogia z rozkładem fotoelektrycznym, który zdaje się również podlegać prawom przypadku. Por. nowsze badania Joffe'go i E. Meyera.

jeżeli [illegible] razy doznała odchylenia dodatniego, zaś [illegible] razy odchylenia ujemnego. Prawdopodobieństwo takiej kombinacyi zdarzeń elementarnych wynosi w myśl znanego twierdzenia Bernoulliego:

$$P(n)=\sqrt{\frac{2}{\pi m}}\, e^{-\frac{n^2}{2m}}$$

Procentowa liczba, przypadająca na przegrody w odstępie od x do $x+\Delta x$, będzie zatem:

$$P(n)\,\Delta x=\frac{1}{\sqrt{2\,b^2 m\,\pi}}\, e^{\frac{-x^2}{2\,m\,b^2}}\,\Delta x$$

to znaczy, że rozkład kulek oznaczony będzie znaną »dzwonowatą« krzywą Laplace Gaussa. Tak tłómaczy się łatwo prawidłowy wynik ostateczny, o ile przyjmiemy zasadnicze założenie co do zupełnej przypadkowości zjawisk elementarnych.

VIII. Słusznie jednak można powiedzieć, że nie wyjaśniliśmy jeszcze rzeczy, tylko odsunęliśmy trudność; bo pozostaje nam do wytłómaczenia, dlaczego skutek każdego uderzenia kuli o sztyfcik uważać można za zjawisko zupełnie przypadkowe. Wszak zdawałoby się, że początkowe położenie i początkowa prędkość kuleczki już jednoznacznie określają całe dalsze jej zachowanie się; że gdyby się znało dostatecznie dokładnie te wielkości, jak i położenie wszystkich sztyfcików, możnaby z góry obliczyć miejsce, które ona w końcu musi osiągnąć.

Co prawda, że w praktyce różne, nie dające się skontrolować czynniki uboczne, jak ruchy obrotowe kuleczki, drobne nierówności deski, minimalne wypukłości i wklęsłości powierzchni kuleczki i t. d., wielce się przyczyniają do wytworzenia »przypadkowości«; ale sądzę, że, nawet pomijając te czynniki i rozważając przykład idealnie uproszczony, można zrozumieć do pewnego stopnia, skąd pochodzi tutaj pozorna przypadkowość.

Wyobraźmy sobie bowiem ową deskę, tak samo jak kuleczkę i sztyfciki, idealnie gładką, tak że tylko postępowy ruch, pod wpływem prędkości początkowej, ciężkości oraz spotkań ze sztyfcikami, rozważać potrzeba. Załóżmy, że spotkania te odbywają się zupełnie niesprężyście, tak że składowa prędkość kuleczki, normalna do płaszczyzny styczności, zostaje zniesiona, a składowa styczna pozostaje niezmieniona.

Wówczas łatwo można tak rzecz urządzić, obierając nachylenie deski stosownie małe, że kuleczka, uderzywszy o sztyfcik B_1 zostanie zawsze odbita ku sąsiedniemu sztyfcikowi C_1 po prawej, lub A_1 po lewej stronie, od niego znów odbije się ku B_1 i t. d., aż po wielokrotnem odbiciu wreszcie prześliźnie się przez otwór między tymi dwoma sztyfcikami. Czy przejdzie ona przez otwór A_1 B_1, czy B_1 C_1, to zależy od tego, po której stronie sztyfcika B₁ pierwsze nastąpiło uderzenie.

Po której zaś stronie sztyfcik B_2 (lub C_2) drugiego rzędu uderzony zostanie, to zależy wyłącznie od kierunku minimalnej prędkości, pozostałej po wielokrotnem odbiciu między A_1 B_1 (lub B_1 C_1). To zaś zależy znów od punktu na powierzchni B_1, w którym nastąpiło pierwsze uderzenie. Nadzwyczajnie mała różnica w położeniu tego punktu pociąga za sobą, jako skutek, nabycie drobnej pozostałej prędkości w kierunku ku prawej lub lewej ręce, C_2 lub B_2, zatem przesunięcie kulki w następnym rzędzie o $+b$ lub $-b$.

Rozpoznajemy więc znów cechę charakterystyczną (1): »mała różnica przyczyny, duża różnica skutków«; również odnajdujemy cechę (2), gdyż zależnie od położenia punktu uderzenia na powierzchni sztyfcika B₁, przechodzić będziemy od wierzchołka tegoż ku dołowi w ogromnie częstej zmianie przez położenia, które naprzemian wywołują albo skutek $+b$, albo $-b$. Ten sam zatem skutek $+b$ odpowiada wielkiej liczbie konstelacyj początkowych, czyli »rozmaite przyczyny, ten sam skutek«.

Właściwości te występują tu nawet w postaci szczególnie jaskrawej, w razie jeżeli odstępy wolne między sztyfcikami równają się dokładnie średnicy kulki, gdyż wówczas liczba owych odbić będzie nieskończenie wielka, a składowa prędkość, pozostająca po przejściu przez otwór, będzie nieskończenie mała. Z symetrii warunków tych odbić wnioskujemy dalej, że prawdopodobieństwo skutków dodatnich i ujemnych jest jednakowo wielkie.

Teoretycznie zatem sposób każdego odbicia zależy wprawdzie od skutku odbicia poprzedniego, ale zależność ta nie da się wcale przedstawić w postaci zwykłej funkcji analitycznej. Już każda nieskończenie mała zmiana warunków powoduje skończoną zmianę skutków $+b$ na $-b$, lub naodwrót, a prawdopodobieństwa tych wydarzeń są jednakowo wielkie przy każdorazowem przejściu kuli przez otwór w szeregu sztyfcików; rozumiemy zatem, że zjawisko

tak się przedstawia, jak gdyby wynik każdego spotkania z szeregiem sztyfcików był zupełnie przypadkowy i nie zależał od poprzedzających je wypadków.

W rzeczywistości przypadkowość takiego zdarzenia elementarnego nie będzie zupełna, gdyż odstęp między sztyfcikami musi być nieco większy niż średnica kuli, zatem liczba odbić nie będzie nieskończenie wielka; na ogół pozostanie pewien ślad zależności między przejściami kulki przez kolejne rzędy, ale zależność ta bardzo szybko zanika w ciągu dalszych przejść i mały na ogół wywiera wpływ na całe zjawisko.

Charakterystyczny znów jest rys, że wprawdzie pojęcie przypadku i prawdopodobieństwa tylko wówczas się dają stosować, jeśli warunki początkowe są do pewnego stopnia zmienne, że jednak wynik ostateczny, rozkład końcowy, nie zależy zupełnie od obrębu i rodzaju tej zmienności (o ile tylko zmienność przyczyny pierwszej określona jest funkcyą analityczną). Czy będziemy się więcej lub mniej o to starali, żeby wszystkie kuleczki puszczać w drogę dokładnie tak samo, to wcale nie wpływa na ich rozkład ostateczny; ułożą się one w każdym razie według krzywej Laplace'a Gaussa.

IX. Przyrząd Galtona tworzy doskonałą ilustracyę wielkiej klasy zjawisk fizycznych: zjawisk dyfuzyjnych. Gdybyśmy z różnych punktów pierwszego szeregu sztyfcików wypuszczali różnobarwne kuleczki w określonej proporcyi, musiałyby te różne kategorye kuleczek mieszać się między sobą stopniowo, w miarę jak one postępują przez kolejne szeregi sztyfcików. Łatwo można istotnie wykazać, że do tego zjawiska stosuje się dokładnie dobrze znane równanie, które określa stopniowo, w miarę czasu, postępującą dyfuzyę. Rachunek [1] jest zupełnie identyczny z obliczeniem dyfuzyi drobin gazowych lub cząstek emulsyi, które początkowo były rozmieszczone z gęstością zależną od odciętej x, a z czasem się mieszają wskutek swych ruchów drobinowych.

Różnica występuje tylko w prawie, określającem wynik zdarzenia »elementarnego«. W powyższym przykładzie musi nastąpić określone przesunięcie $+b$ albo $-b$, podczas gdy w owych przypadkach istnieje przy każdem zjawisku elementarnem (zderzenie

[1] Por. Smoluchowski, O drodze średniej cząsteczek gazu i o związku jej z teoryą dyfuzyi. Rozpr. Akad. Krak. XLVI. str. 129, 1906.

z inną drobiną i t. d.) możliwość, że drobina osiągnie większe lub mniejsze przesunięcie w kierunku x. Można udowodnić, że w razie dostatecznie długiego trwania zjawiska wynikiem będzie zawsze częściowa dyfuzya, jeżeli tylko funkcya, określająca prawdopodobieństwo przesunięć przy pojedyńczem zjawisku elementarnem, jest funkcyą parzystą, dającą się rozwinąć w szereg Mac Laurina: $f(x) = a + b\,x^2 + cx^4 + \ldots$

Ten sam zresztą przyrząd jest równocześnie modelem przewodnictwa cieplnego, w razie rozkładu temperatury wyłącznie zależnego od x, gdyż zasadnicze równanie przewodnictwa cieplnego jest identyczne z równaniem dyfuzyi.

Przyjmowaliśmy dotychczas, że deska Galtona jest nieograniczona w kierunku x. Jeżeli zaś posiada ona ściany boczne, zmuszające kuleczki do pozostawania w obrębie odciętych od $-l$ do $+l$, wówczas przyrząd ten przedstawia obraz dyfuzyi w naczyniu zamkniętem. Widocznie wówczas, w razie dostatecznie długiego czasu (t. j. dostatecznie dużej liczby rzędów sztyfcików), wystąpi zupełne wyrównanie prawdopodobieństwa pobytu kulki w jakiej bądź odciętej, czyli zupełne zmieszanie kulek początkowo rozdzielonych.

Przyrząd Galtona możnaby jeszcze zmienić tak, żeby mógł posłużyć do ilustracyi różnych innych zjawisk fizycznych. Układając n. p. sztyfciki symetrycznie i nadając desce odpowiednie nachylenie boczne, tak żeby kuleczki stosunkowo większych ulegały przesunięć w kierunku dodatnim niż ujemnym, i umieszczając równocześnie listwę pionową boczną, dla powstrzymania kuleczek od przekroczenia pewnej odciętej x, otrzymałoby się rozkład analogiczny do rozkładu gęstości atmosfery ziemskiej, lub do rozkładu cząstek gumiguty, w blizkości dna naczynia, jaki się ustala pod wpływem ciężkości.

Zresztą przykłady te są pod pewnym względem najprostszymi możliwymi, gdyż prawdopodobieństwo wyniku każdego zjawiska elementarnego jest takie samo, niezależnie od odległości x, już osiągniętej przez kuleczkę. Istnieją inne przykłady w fizyce, gdzie sprawa jest więcej skomplikowana. Tak n. p. drobina, posiadająca pewną prędkość postępową ξ w kierunku osi X, doznaje przypadkowej zmiany tej prędkości przy spotkaniu z inną drobiną. Na ogół jednak prawdopodobieństwo przyrostu prędkości ξ jest mniejsze, niż prawdopodobieństwo zmniejszenia się; i różnica jest tem wybitniej-

sza, czem większa jest wartość ξ. Skutek wielokrotnych zderzeń jest w tym wypadku analogiczny do wzoru, omawianego w rozdziale VII, gdyż ważnem będzie w tym razie słynne prawo rozkładu prędkości drobinowych Maxwella, identyczne w ogólnym swym kształcie z prawem Gaussa; różnica się polega na tem, że parametr krzywej dzwonowatej nie wzrasta w miarę czasu, jak w owym przykładzie, tylko pozostaje niezmiennym (w związku z temperaturą gazu).

X. Starajmy się streścić w formie nieco ściślejszej myśli zazadnicze, występujące w omawianych przykładach specyalnych. Pytanie, przytoczone w rozdz. I: jak przyczyny, przypadkowo działające, mogą dać określony, prawidłowy wynik, wyjaśnia się samo przez się. Wszak zrozumiałem będzie ze wszystkiego, co mówiliśmy, że słowo »przypadek« w fizyce nie rozumiemy w znaczeniu potocznem, które jest równoważne z nieobliczalnym i zupełnie dowolnym kaprysem, tylko jako pewnego rodzaju prawidłowość, która się sprawdzić daje doświadczalnie, ze stosunkowo coraz większą dokładnością, w miarę wielokrotnego powtarzania zjawiska.

Prawidłowość tę, z którą w fizyce łączymy nazwę przypadku, możemy mniej więcej w następujący sposób określić. Powiadamy, że zjawisko y, powstające wskutek przyczyny x, jest przypadkowe, jeżeli kształt funkcyi, określającej prawdopodobieństwo różnych wartości y, nie zależy od kształtu funkcyi, która określa prawdopodobieństwo rozmaitych wartości x. Wówczas bowiem rozkład przyczynowy nie wpływa na rozkład skutków i wydaje się, jak gdyby to były zjawiska niezależne.

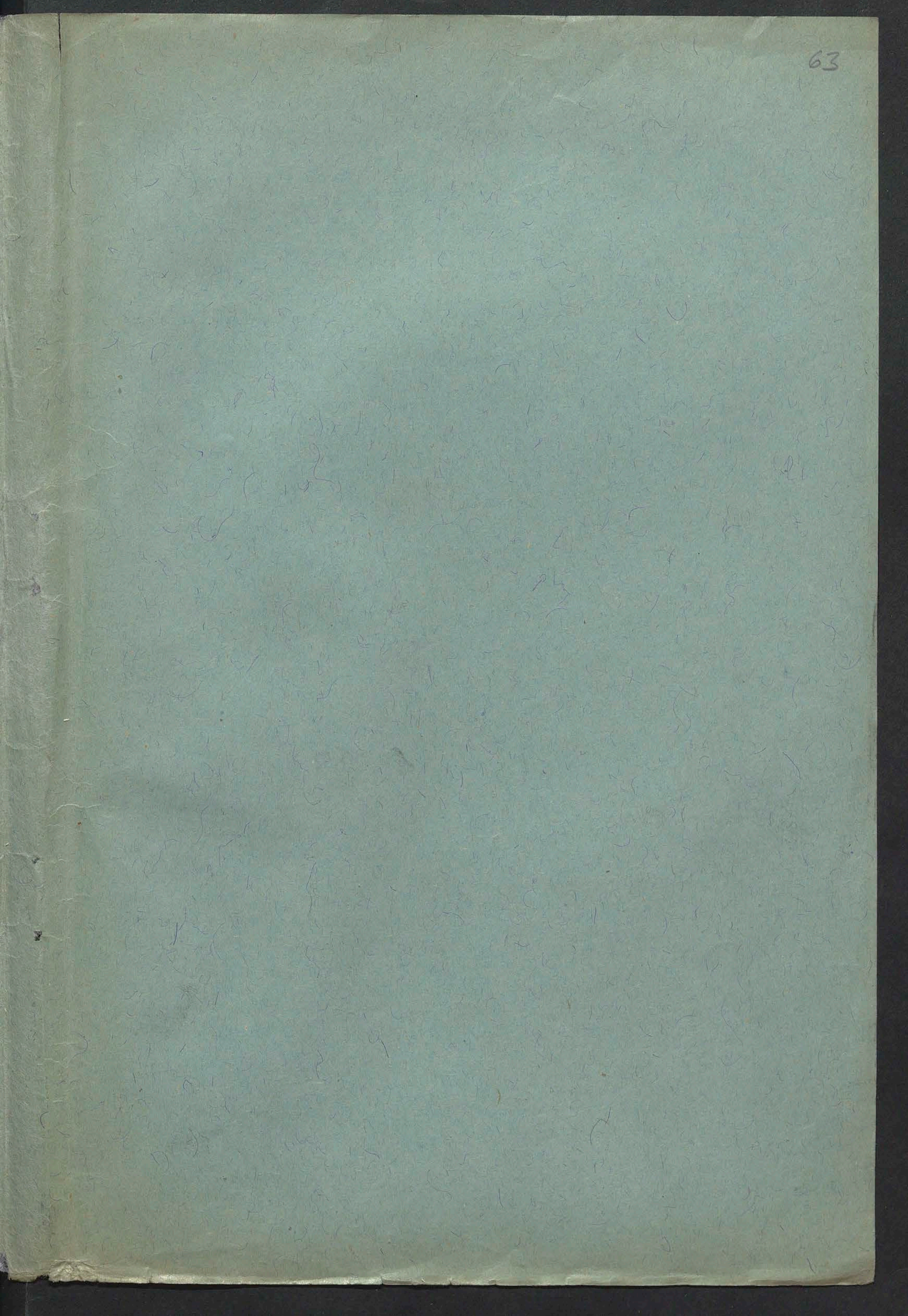
Warunek dostateczny dla przybliżonej przypadkowości skutków alternatywnych y_1, y_2 jest następujący: Rozważmy obręb, w którym różne wartości zmiennej x występują z prawdopodobieństwem stosunkowo niewiele różnem. Jeżeli w tym obrębie funkcya, wyrażająca związek przyczynowy x i skutku y, taki posiada charakter, że wielkiej liczbie przedziałów $x \ldots x+\Delta x_1$; $x+\Delta x_2 \ldots x+\Delta x_3$; $x+\Delta x_4 \ldots x+\Delta x_5 \ldots$ i t. d. odpowiada skutek y_1, natomiast na przemian położonym przedziałom $x+\Delta x_1 \ldots x+\Delta x_2$; $x+\Delta x_3 \ldots x+\Delta x_4$; ... i t. d. skutek y_2, wówczas występowanie skutków y_1, y_2 można uważać za przybliżenie przypadkowe. Ściśle przypadkowe będą one wówczas, jeżeli wszystkie owe przedziały Δx są nieskończenie małe, a liczba ich nieskończenie wielka. Stosunek prawdopodobieństw zjawisk y_1, y_2 wówczas jest ozna-

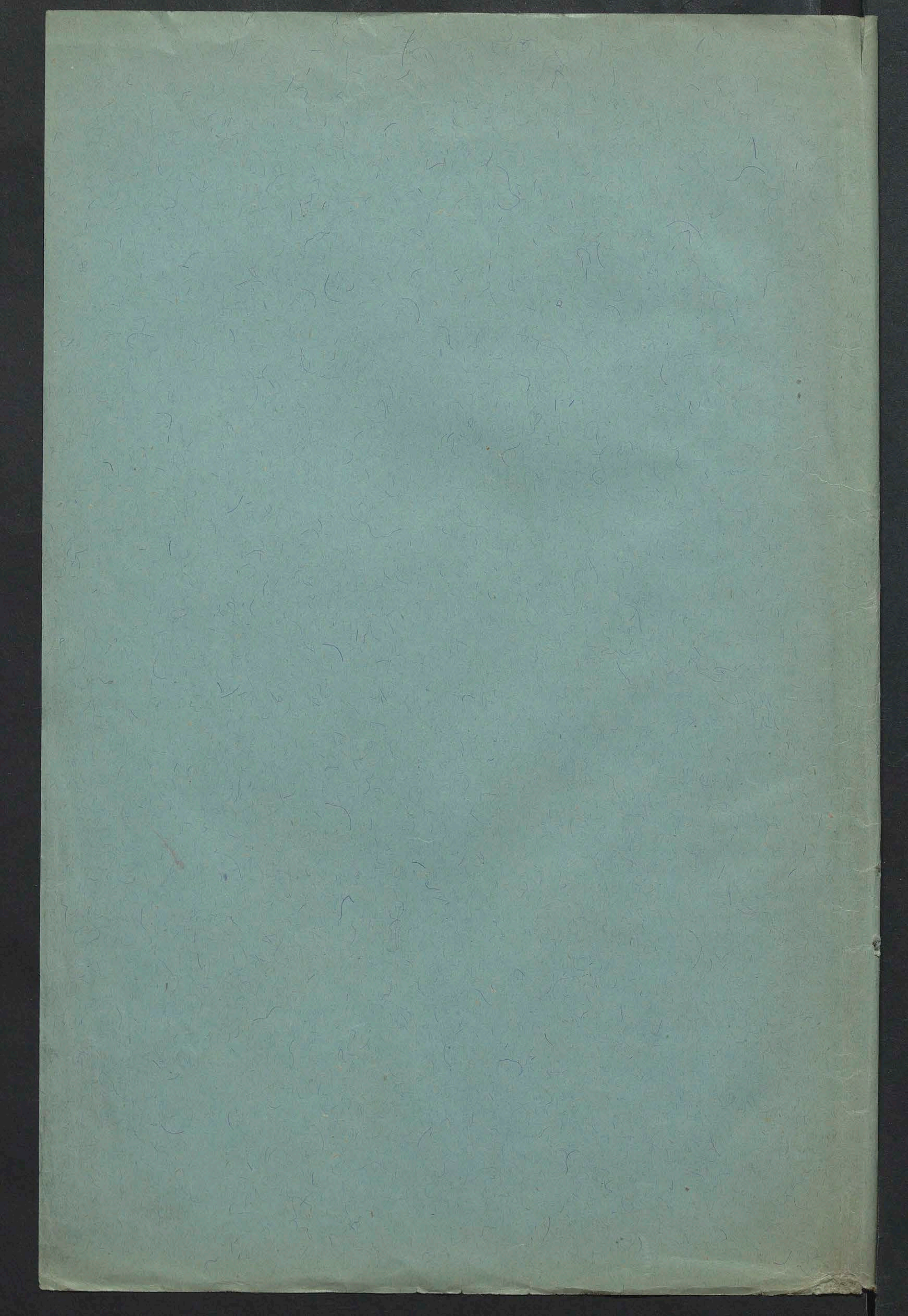
czony przez stosunek sumy przedziałów parzystych do sumy przedziałów nieparzystych.

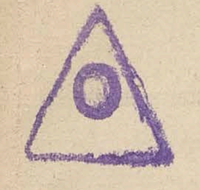
W zjawiskach, do których stosujemy w praktyce rachunek prawdopodobieństwa, występuje przypadek zazwyczaj tylko w owem znaczeniu »przybliżonem«. Że rachunek prawdopodobieństwa tak dobrze się zgadza z doświadczeniem przy różnych grach hazardowych i t. p., polega tylko na tem, że tam jako właściwy, pierwotny czynnik występuje człowiek, który jest maszyną, posiadającą nadzwyczajnie wielki »obręb przypadkowej zmienności«.

Z punktu widzenia fizyki najciekawsze przykłady, należące do zakresu kinetycznej teorji materji, przedstawiają niestety nieprzezwyciężone dotychczas trudności dla zastosowania takich kryterjów przypadkowości. Czujemy intuicyjnie, że Maxwella i Boltzmanna metoda obliczania skutków zderzeń drobinowych, opierająca się na przyjęciu zupełnej przypadkowości zjawisk składowych[1], jest bardzo przybliżenie ważna. Mechanika statystyczna daje nam jednak poważne powody do przypuszczenia, że metoda ta nie jest zupełnie ścisła; niestety nie potrafimy obecnie jeszcze należycie ocenić wielkości błędów, wywołanych przez użycie owego założenia Boltzmanna.

[1] Przyjęcie to wyraża się matematycznie w formie t. zw. Stosszahl-Ansatz. Por. P. u. T. Ehrenfest, Begriffliche Grundlagen der statistischen Auffassung in der Mechanik, Enzyklopädie der mathemat. Wissenschaften, IV. 2 II. Heft 6, Teubner, Leipzig 1912.







Nicht im Handel.

Sonderabdruck

aus

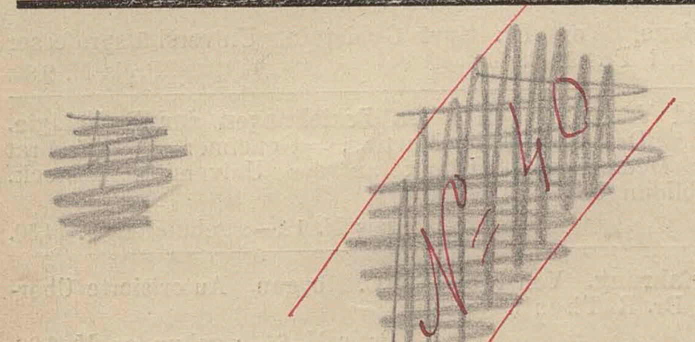
Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und **Prof. Dr. August Pütter**

Verlag von Julius Springer in Berlin W9.



Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandten Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

Redaktion der „Naturwissenschaften"
Berlin W9, Link-Str. 23/24.

erscheinen in wöchentlichen Heften und sind durch den Buchhandel, die Post oder von der Verlagshandlung zum Preise von M. 6.— für das Vierteljahr zu beziehen. Preis des einzelnen Heftes 60 Pf.

Verlagsbuchhandlung von Julius Springer
in Berlin W9, Link-Str. 23/24.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Allgemeine Physiologie. Eine systematische Darstellung der Grundlagen sowie der allgemeinen Ergebnisse und Probleme der Lehre vom tierischen und pflanzlichen Leben. Von **A. von Tschermak.** In zwei Bänden. Erster Band: Grundlagen der allgemeinen Physiologie. Erster Teil: Allgemeine Charakteristik des Lebens physikalische und chemische Beschaffenheit der lebenden Substanz. Mit 12 Textabbildungen. 1916. Preis M. 10,—.

Allgemeine und spezielle Physiologie des Menschenwachstums. Für Anthropologen, Physiologen, Anatomen und Ärzte dargestellt von Privatdozent Dr. **Hans Friedenthal**, Nikolassee. Mit 3 Tafeln und 34 Textabbildungen. 1914. Preis M. 8,—.

Handbuch für biologische Übungen. Von Professor Dr. **Paul Röseler,** Direktor der Luisenschule zu Berlin, und **Hans Lamprecht,** Oberlehrer an der Friedrichs-Werderschen Oberrealschule zu Berlin. Zoologischer Teil. Mit 467 Textfiguren. 1914. Preis M. 27,—; gebunden M. 28,60.

Das Leben. Sein Wesen, sein Ursprung und seine Erhaltung. Von Professor **E. A. Schäfer.** Autorisierte Übersetzung von Charlotte Fleischmann. 1913. Preis M. 2,40.

Energie, Leben und Tod. Vortrag, gehalten in Wien in der „Wiener Urania" am 7. Februar 1914. Von **Franz Tangl,** o. ö. Professor an der Universität Budapest. 1914. Preis M. 1,60.

Über Rassenhygiene. Von Dr. **Kurt Goldstein,** Universitätsprofessor in Königsberg i. Pr. 1913. Preis M. 2,80.

Konstitution und Vererbung in ihren Beziehungen zur Pathologie. Von Professor Dr. **Friedrich Martius,** Geheimer Medizinalrat Direktor der Medizinischen Klinik an der Universität Rostock. Mit 13 Textabbildungen. 1914. Preis M. 12,—; gebunden M. 14,50.

Instinkt und Erfahrung. Von Professor **C. Morgan.** Autorisierte Übersetzung von Dr. R. Thesing. 1913. Preis M. 6,—; gebunden M. 6,80.

Ueber funktionelle Anpassung, ihre Grenzen, ihre Gesetze in ihrer Bedeutung für die Heilkunde. Von Dr. med. **Willi G. Lange,** Charlottenburg. Nach dem Tode des im Felde gefallenen Verfassers herausgegeben von **Wilhelm Roux.** 1917. Preis M. 2,40.

Teuerungszuschlag auf geheftete Bücher 20%, auf gebundene Bücher 30%.

~~Sonderabdruck aus~~

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

1918. Heft XVII

~~(Verlag von Julius Springer in Berlin)~~

VII. Über den Begriff des Zufalls und den Ursprung der Wahrscheinlichkeitsgesetze in der Physik.

~~Von Prof. M. v. Smoluchowski †, Krakau.~~

I.

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung, welche seit Beginn ihrer Entwicklung mit größtem Erfolg hauptsächlich in dem sonst der mathematischen Behandlung wenig zugänglichen Bereich sozialer und biologischer Vorgänge angewendet wurde, hat sich in den letzten Zeiten ein überaus wichtiges Anwendungsgebiet erobert: die Physik. Und zwar ist damit nicht etwa die seit *Gauß'* Zeiten als eigene Hilfsdisziplin ausgebildete Theorie der Fehlerausgleichung bei physikalischen Messungen gemeint, sondern gerade das eigentliche Gerüst dieser Wissenschaft, das System der theoretischen Physik.

Zum ersten Male in den Jahren 1857—1860 von *Clausius* und *Maxwell* als eigenartiges mathematisches Hilfsmittel in die kinetische Gastheorie eingeführt, hat die Wahrscheinlichkeitsrechnung, nach einer vorübergehenden Periode der Stagnation, infolge des schließlichen Sieges der atomistischen Anschauungsweise eine für die Physik ganz grundlegende Bedeutung gewonnen und bildet heute das wichtigste Werkzeug bei Forschungen auf dem Gebiete der modernen Theorien der Materie, der Elektronik, Radioaktivität und Strahlungstheorie. Entspricht doch ihr Wesen durchaus der heute zur Herrschaft gelang-

ten Tendenz, sämtliche Gesetze der Physik[1]) — nach dem Vorbild der kinetischen Gastheorie — auf Statistik verborgener Elementarereignisse zurückzuführen, wobei die „Einfachheit“ derselben als sekundäre Folge des Wahrscheinlichkeitsgesetzes der großen Zahlen aufgefaßt wird.

Trotz dieser enormen Ausdehnung des Anwendungsbereiches der *Wahrscheinlichkeitsrechnung* hat *die exakte Analyse der ihr zugrunde liegenden Begriffe* nur geringe Fortschritte gemacht; es gilt wohl noch heute der Satz, daß keine zweite mathematische Disziplin auf so unklaren und schwankenden Grundlagen aufgebaut ist. So werden die Grundfragen nach der Subjektivität oder Objektivität des Wahrscheinlichkeitsbegriffes, nach der Definition der Zufälligkeit usw. von verschiedenen Autoren in diametral entgegengesetzter Weise beantwortet. Insbesondere ist auch eine allgemeine und mathematisch exakte Präzisierung der für die Anwendbarkeit dieser Rechnungsmethode charakteristischen Bedingungen noch immer ausständig, und man pflegt sich in dieser Hinsicht meist auf ein intuitives Wahrscheinlichkeitsgefühl zu verlassen.

Als kleiner Beitrag zu derartigen Untersuchungen mögen die nachfolgenden Bemerkungen aufgefaßt sein, welche von der Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Physik ausgehen, in der gewisse grundsätzliche Schwierigkeiten in besonders krasser Form auftreten. Ich will eingestehen, daß gerade das Unbefriedigende der diesbezüglichen Ausführungen in gewissen, sonst höchst beachtenswerten neueren Werken die Entstehung dieser Studie veranlaßt hat. Im übrigen bezweckt dieselbe selbstverständlich keineswegs eine allseitige und endgültige

---

[1]) Von dieser Tendenz sind bisher nur die Lorentzschen Gleichungen der Elektronentheorie, das Energiegesetz und Relativitätsprinzip unberührt geblieben, aber es ist wohl möglich, daß im Laufe der Zeit auch hier exakte Gesetzesformen durch statistische Regelmäßigkeit ersetzt werden dürften.

Aufklärung des ganzen damit zusammenhängenden Komplexes philosophischer Fragen, sondern will nur eine Anregung zu weiteren Untersuchungen in einer bestimmten Richtung geben, indem einige *Leitgedanken* hervorgehoben werden, welche die bisher allzusehr vernachlässigte *objektive Seite des Wahrscheinlichkeitsbegriffes ins rechte Licht setzen* sollen.

II.

Die Frage, welche Ereignisse in den Geltungsbereich der Wahrscheinlichkeitsrechnung fallen, wird wohl allgemein dahin beantwortet: diejenigen, *deren Eintritt vom Zufall abhängt.* Die Untersuchung dieses letzteren Begriffes ist also jedenfalls das Primäre, und wir werden uns vor allem klar zu machen suchen, *wodurch das Wesen des Zufalls gekennzeichnet ist.* Damit hängen zwei vielumstrittene Probleme zusammen, deren Schwierigkeit angesichts der exakten mathematischen Spekulationen der theoretischen Physik sich besonders fühlbar macht, nämlich:

1. Wie ist es möglich, daß sich der Effekt des Zufalls berechnen lasse, daß also *zufällige Ursachen gesetzmäßige Wirkungen* haben?
2. Wie kann der Zufall entstehen, wenn alles Geschehen nur auf regelmäßige Naturgesetze zurückzuführen ist? oder mit anderen Worten: Wie können *gesetzmäßige Ursachen* eine *zufällige Wirkung* haben?

Betrachtet man in populärer Weise den Zufall als die Negation des Gesetzmäßigen, so sind diese Widersprüche gewiß vollständig unüberbrückbar. Ein solcher Zufallsbegriff ist jedoch mit dem in der heutigen Wissenschaft herrschenden Determinismus unvereinbar. Meist pflegt man sich also die Sache durch die Annahme zu erklären, daß zwar zwischen der betreffenden Ursache und Wirkung ein gesetzmäßiger, kausaler Zusammenhang besteht, daß aber die Art des Zusammenhanges für uns wegen der Komplikation

der Erscheinung nicht erkennbar ist, wodurch der Schein der Gesetzlosigkeit entsteht. In diesem Sinne wäre der Zufall als eine uns „*unbekannte Teilursache*“ zu bezeichnen. Damit dürfte wohl auch *Meinongs*[1]) Auffassungsweise näher verwandt sein, als es den Anschein hat, welcher zufolge Zufälligkeit die „Tatsächlichkeit“ von etwas „Nichtnotwendigem“ bedeuten würde; dabei soll nämlich die negierte Notwendigkeit entweder eine innere oder äußere (relativ zu einem gewissen Komplex von Objektiven) sein. Wenn man nun vom deterministischen Standpunkt aus Ursache und Wirkung als stets durch die inneren Notwendigkeitsbeziehungen der Teilereignisse verkettet ansieht, kann von Nichtnotwendigkeit nur in relativem Sinne die Rede sein: insofern die Notwendigkeit äußerlich nicht erkennbar ist, also insofern ein Teil der wirkenden Ursachen unbestimmt ist.

Diese herkömmliche Darstellungsweise, welche das Wesen des Zufalls auf unsere Unkenntnis der wirkenden Gesetze oder Ursachen zurückführt, könnte man allenfalls noch als Beantwortung der zweiten der oben angeführten Fragen gelten lassen, aber es bleibt die erste Frage ungelöst, wieso eine Berechnung der Wirkung unerkennbarer Teilursachen möglich ist.

Die mannigfaltigen philosophischen Analysen des Wahrscheinlichkeitsbegriffes geben hierüber keinen Aufschluß. Überhaupt handelt es sich dem Philosophen dabei meist um etwas ganz anderes als dem Physiker. Er richtet seine Aufmerksamkeit vor allem auf die subjektiven, psychologischen Momente des Wahrscheinlichkeitsgedankens, analysiert die erkenntnistheoretische Bedeutung desselben, untersucht, in welcher Weise sich wahrscheinliche Aussagen, neben wahren und falschen Aussagen, in das System der formalen Logik einordnen lassen, pflegt aber

---

[1]) A. Meinong, Über Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit, Leipzig 1915.

die Frage nach der Art der denselben zugrunde liegenden objektiven Tatsachen nicht näher zu berühren.

Im Gegensatz hierzu interessiert sich die exakte Naturwissenschaft nicht für Aussagen und nicht für subjektive — berechtigte oder unberechtigte — Vermutungen[1]), sondern für die objektive oder „mathematische" Wahrscheinlichkeit, d. i. für die relative Häufigkeit des Eintretens bestimmter zufälliger Ereignisse. Sie gebraucht also den — wie *Meinong* treffend bemerkt — so vieldeutigen Begriff der Wahrscheinlichkeit in einem sehr eingeschränkten Sinne, welchem jener Autor und andere Philosophen allerdings lieber die Bezeichnung Möglichkeitsgrad beilegen dürften, welcher aber eben erst in diesem engeren Sinne einer exakt mathematischen Behandlung zugänglich wird. Es verhält sich damit ähnlich wie mit vielen anderen Ausdrücken, wie z. B. Kraft, Arbeit, Energie, Wärme, welche der Physiker in wesentlich anderem Sinne versteht, als dies im gewöhnlichen Leben üblich ist.

Offenbar sind also, soweit die Anwendung in der theoretischen Physik in Betracht kommt, *alle Wahrscheinlichkeitstheorien* von vornherein als *ungenügend* zu betrachten, *welche den Zufall als „unbekannte Teilursache" auffassen. Die physikalische Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses kann nur von den Bedingungen abhängen, welche sein Zustandekommen beeinflussen, aber nicht von dem Grade unseres Wissens.*

Ich bin mir wohl bewußt, daß dies im Gegensatz zu der allgemein üblichen Auffassung steht, welche eine teilweise Unkenntnis der Ursachen als das wesentliche hier in Betracht kommende Moment ansieht, darum sei als Beleg für unsere Behauptung bemerkt: Die Wahrscheinlichkeitsrechnungen der kinetischen Gastheorie würden ihre Berechtigung auch dann behalten, wenn wir

[1]) *Meinong* (loc cit.) führt den Wahrscheinlichkeitsgrad auf die Stärke „berechtigter Vermutungen" zurück.

die Beschaffenheit der Moleküle, deren Anfangslagen usw. absolut genau kennen würden und imstande wären, deren Bewegungen mathematisch exakt für alle Zeiten zu verfolgen. Sie wäre dann noch immer zum wenigsten ein ebenso rationelles mathematisches Hilfsmittel wie die abgekürzte Multiplikation oder die Benutzung der Logarithmentafeln (oder des Rechenschiebers) neben der üblichen exakten Multiplikation.

Wie pflegen nun die Vertreter der herkömmlichen Auffassung die Tatsache zu erklären, daß eine Berechnung der Wirkung unbekannter Teilursachen möglich ist? Sie berufen sich auf das „Gesetz der großen Zahlen" als ein zwar nicht beweisbares, aber empirisch unumstößlich erwiesenes Prinzip. So sagt z. B. *Timerding*[1]: „. . . die unverbrüchliche Kausalität in allem Naturgeschehen mag wohl aufrecht erhalten werden, sie reicht aber nicht hin, um die Regelmäßigkeit des Weltgeschehens vollständig zu erklären. Es gehört vielmehr die Tatsache hinzu, die wir als Gesetz der großen Zahlen bezeichnen, und die bewirkt, daß die Unregelmäßigkeiten, die sonst durch die zufälligen Ereignisse in die Welt hineingetragen werden, in dem Gesamtergebnis wieder verschwinden . . . . . Unser Verstand sträubt sich allerdings dagegen, ein solches Prinzip nur deshalb anzunehmen, weil hier und dort seine Richtigkeit bezeugt wird, vielmehr drängt er dahin, auch einen inneren Grund für einen solchen Ausgleich zu finden. Ein solcher innerer Grund läßt sich aber nicht ermitteln . . . . ."

Das ist wohl eine wenig erfreuliche Lösung, und man wird trachten, einen anderen Ausweg aus dem Dilemma zu finden. Übrigens bemerkt beispielsweise *Poincaré*, daß auch in der abstrakten Mathematik von Wahrscheinlichkeitsgesetzen geredet werden kann, daß z. B. die Häufigkeit der Zahlen 1, 2, 3, ... an der letzten Stelle der

[1]) *H. E. Timerding*, Die Analyse des Zufalls, S. 162 (Vieweg 1915).

Zahlenkolonnen einer Logarithmentafel dem gewöhnlichen Wahrscheinlichkeitsgesetz gleichmöglicher Fälle folgt. Wird sich der Mathematiker damit begnügen, hierin das Walten eines unbegreiflichen, rein empirischen Gesetzes der großen Zahlen anzuerkennen?

III.

Ein Fingerzeig zur Lösung der Frage scheint mir darin zu liegen, daß die oben erwähnten Definitionen des Zufalls als unbekannter Teilursache[1]) und dergl. zweifellos *viel zu weit sind.* Als Leverrier bemerkte, daß die Bewegung des Uranus nicht genau mit der Vorausberechnung übereinstimme, sagte er nicht: das ist Zufall! — Wir haben keine Ahnung, wann eine magnetische Störung stattfinden wird, halten aber das Eintreten derselben doch durchaus nicht für eine Sache des Zufalls.

Es fehlt in diesen Beispielen ein ganz wesentliches *Merkmal desjenigen, was man* im gewöhnlichen Leben oder in unserer Wissenschaft *als Zufall bezeichnet,* und zwar läßt sich dieses kurz in die Worte fassen: *Kleine Ursache — große Wirkung!* Ein minimaler Unterschied im Ingangsetzen der Roulette — Gewinn oder Verlust einer Unsumme Geldes. *Poincaré,* welcher hierauf nachdrücklich hingewiesen hat, gibt zwar noch zwei Alternativmerkmale des Zufalls an[2]): Kompliziertheit vieler mitwirkender Ursachen oder gegenseitige Einwirkung zweier für gewöhnlich zu unabhängigen Gebieten gehöriger Vorgänge, doch glaube ich, daß sämtliche dazu ge-

[1]) *Czuber* (Wahrscheinlichkeitsrechnung, S. 8) sagt „unbekannte und wechselnde Umstände". Es ist wohl nicht recht klar, was mit „wechselnd" gemeint ist und wie der Wechsel zu erkennen ist, wenn der Umstand selber unbekannt ist. Vielleicht ist das aber ein intensives Herausfühlen der Kriterien, die wir später besprechen werden.

[2]) *H. Poincaré,* Calcul des Probabilités, Paris 1912, Introduction.

hörigen Fälle sich bei genauer Analyse ebenfalls unter jenen Gesichtspunkt einordnen lassen.

Besonders charakteristisch tritt jenes Merkmal in allen Fällen auf, wo es sich um einen Zustand labilen Gleichgewichts handelt. Denken wir uns einen „idealen" Würfel auf eine Ecke gestellt, so ist die kleinste Verschiebung des Schwerpunktes aus der Vertikalen schon dafür entscheidend, auf welche der drei unten zusammenstoßenden Flächen der Würfel zu liegen kommen wird. Welche Zahl also obenauf erscheinen wird, das, so sagt man, hängt vom Zufall ab. Mathematisch ausgedrückt: die Wirkung y (obenauf erscheinende Zahl) hängt von der Ursache x (Lage des Schwerpunktes) derart ab, daß die Funktion $y = f(x)$ in dem betreffenden Gleichgewichtswerte x_0 eine Unstetigkeit aufweist.

Nebstbei bemerkt, setzt sich die Ursache in diesem Falle eigentlich aus zwei Variabeln zusammen: wenn man sich den Schwerpunkt O und die drei in der unteren Ecke E zusammenstoßenden Kanten auf die Horizontalebene projiziert, sieht man, daß die Entfernung $r = OE$ in der so erhaltenen Projektion für die Geschwindigkeit maßgebend ist, mit welcher das Umfallen erfolgt; die durch einen Winkel θ definierbare Richtung des Vektors OE in bezug auf die drei Kantenlinien für die Zahl, welche obenauf erscheinen wird.

Nun entzieht sich aber ein derartiger Zufall jeder apriorischen Berechnung und kann auch niemals die Grundlage zur Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung bilden. Denn solange man die bestimmenden Ursachen (Richtung und Größe des Vektors OE) nicht mit genügender Genauigkeit kennt, läßt sich bezüglich des Effektes überhaupt gar nichts voraussagen. Kennt man sie aber, so ist die Wirkung mit Gewißheit vorauszusehen, und es bleibt kein Raum für Wahrscheinlichkeit übrig.

Als Beispiel eines unberechenbaren Zufalls sei noch ein anderer Fall angeführt: wenn ein Artillerist mit einem mathematisch exakt schießenden Geschütz nach einem Ziel schießt, dessen Entfernung ihm unbekannt ist. Es fehlt ihm die Kenntnis einer der Variabeln, von denen die richtige Elevation abhängt, und es wäre ein blinder Zufall, wenn er einen Treffer erzielen würde. Von irgend einer Vorausberechnung, von einer Wahrscheinlichkeit in unserem Sinne, kann da gar nicht die Rede sein, solange uns die Psychologie jenes Artilleristen nicht näher bekannt ist. Sobald wir aber wissen, daß derselbe eine gewisse Methode systematischen Einschießens anwendet, oder sobald gewisse mechanische Hilfsmittel von später zu besprechender Art (z. B. Rotation des Geschützrohres um die Lagerachse) mitspielen, wird die Aufgabe eine ganz definierte, und läßt sich (mit Rücksicht auf die Größe des Zieles und seine Entfernung usw.) eine bestimmte Treffwahrscheinlichkeit angeben.

Der einer Wahrscheinlichkeitsberechnung entsprechende — vielleicht darf man sagen: der „geregelte" Zufall zeichnet sich also vor dem Zufall in weiterem Sinne durch ein wesentliches Charakteristikum aus: *eine gewisse Regelmäßigkeit der Wirkung* bei oftmaliger Wiederholung des Vorganges, *unabhängig von der speziellen Art der Ursache.*

Läßt man den vorher besprochenen Würfel aus der Höhe eines Meters auf eine ideal ebene (unvollkommen elastische) Unterlage fallen, so ändert sich jener Vorgang in wesentlicher Weise. Der Würfel prallt ab, steigt empor und wiederholt diese Bewegungen mehrmals mit abnehmender Amplitude und unter Annahme scheinbar unregelmäßiger Rotationsbewegungen, bis er auf irgend einer seiner sechs Seiten liegen bleibt. Auf welche er schließlich zu liegen kommt, muß natürlich von der Art der anfänglichen Abweichung aus der axial-lotrechten Stellung abhängen, aber die Funktion $y = f(r, \Theta)$, welche

diese Abhängigkeit ausdrückt, wird so beschaffen sein, daß bei kontinuierlicher Variation der zwei die Anfangslage definierenden Variabeln r, Θ in äußerst raschem Wechsel Gebiete durchschritten werden, welche allen möglichen Endlagen entsprechen, derart, daß bereits innerhalb eines äußerst kleinen Variabilitätsbereiches V der Achsenstellung (in bezug auf die Lotrechte) die den Zahlen 1—6 zugehörigen Bereiche ungefähr flächengleich werden. Die Größe V könnte man vielleicht mit dem Namen Ausgleichsgebiet belegen.

Würde man nun versuchen, den Würfel vor dem Fallenlassen durch menschliche Hilfsmittel in irgend einer Weise zu orientieren, so ist klar, daß dabei gewisse Einstellungsfehler trotz größter Sorgfalt unvermeidlich sind. Den Bereich dieser unvermeidlichen Fehler wollen wir als Schwankungsbereich Ω bezeichnen, und man darf wohl annehmen, daß die Verteilungsfunktion $\varphi(r, \Theta)$, welche die relative Häufigkeit jener Fehler bei unzähliger Wiederholung der Versuche darstellt, einen regelmäßigen „analytischen" Charakter besitze. Ist daher das durch die Art der zwangsläufigen Funktion $f(r, \Theta)$ bestimmte Ausgleichsgebiet V klein im Vergleich zum individuellen Schwankungsbereich Ω, so ist leicht einzusehen, daß schließlich für alle Zahlen 1—6 eine gleiche Wahrscheinlichkeit resultieren muß, *unabhängig von der speziellen Art der beabsichtigten Einstellung und von der individuellen Variationsfunktion* $\varphi(r, \Theta)$. Das *Einzelereignis* ist also nicht vorauszusehen, wohl aber die *Gesamtverteilung* der Ereignisse bei fortgesetzter Wiederholung. In einem solchen Falle *waltet der Zufall in gesetzmäßiger Weise.*

Einfacher als der obige Fall ist das Beispiel der Roulette, an welchem *Poincaré*[1] analoge Betrachtungen anstellt, oder das Beispiel der einem Schützen als Ziel dienenden rotierenden Sek-

~~[1] *Poincaré*, loc. cit.~~

70

torenscheibe. Ob derselbe einen schwarzen oder weißen Sektor treffen wird, hängt vom Zeitpunkt ab, wann das (feststehende) Gewehr abgedrückt wird. Man kann aber immer die Scheibe in so rasche Rotation versetzen, daß die Treffsicherheit des Schützen ausgeschaltet wird. Mag er sich in einem beliebigen Moment entschließen, loszudrücken, jedenfalls vergeht vom Entschluß bis zur Tat noch eine unbestimmte, in gewissen Grenzen variable Zeit, so daß die Wahrscheinlichkeit, daß der Schuß gerade zur Zeit t losgeht, durch eine (im Schwankungsbereich von t bis $t + \tau$ von Null merklich verschiedene) Funktion $\varphi(t)$ dargestellt wird, von der anzunehmen ist, daß sie keine singulären Eigenschaften, wie Unstetigkeiten, außerordentlich viele Maxima und Minima und dergl., aufweist, deren Form aber sonst gleichgültig ist.

Entfallen also auf den Schwankungsbereich τ der Zeit genügend viele Rotationen der Scheibe, so *verschwindet der Einfluß der individuellen Form der Verteilungsfunktion* $\varphi(t)$, die Wahrscheinlichkeit, einen weißen oder schwarzen Sektor zu treffen, hängt dann nur vom relativen Flächeninhalt derselben ab. Man pflegt dann von jener Wahrscheinlichkeit schlechthin zu reden, ohne Rücksicht auf die Funktion φ, aber stillschweigend macht man doch betreffs φ die vorher erwähnten Annahmen. Jene Wahrscheinlichkeitsüberlegung würde beispielsweise ganz gegenstandslos werden, falls das Gewehr mit der Sektorenscheibe mittels eines elektrischen Kontaktes in passender Weise verbunden wäre.

In letzter Linie basiert die ganze Argumentation offenbar auf der Tatsache, daß jede (differenzierbare) Funktion sich im Bereich genügend kleiner Veränderungen der unabhängigen Variabeln angenähert proportional mit denselben ändert, und sie läßt sich durch eine einfache geometrische Analogie illustrieren: wenn man auf Papier, das in schmale, gleichbreite, alternierend weiße und schwarze Flächenstreifen zerlegt ist,

aus freier Hand eine beliebige (aber nicht zu kleine und nicht zu unregelmäßige!) geschlossene Kurve zieht, so wird der von derselben ausgeschnittene „weiße" und „schwarze" Flächeninhalt sehr nahe gleich groß sein, ohne Rücksicht auf die Art jener Kurve. Letztere entspricht dem, was wir individuellen Schwankungsbereich genannt haben, während die Zerlegung des Papiers in Flächenstreifen durch die Art der zwangsläufigen Kausalrelation $y = f(x)$ bestimmt ist.

Somit sehen wir, wie für die *Wirkung* des Zufalls ein bestimmtes Gesetz resultieren kann, ohne Rücksicht auf die spezielle Form jener unbekannten, primären Verteilungsfunktion φ, womit *der erste der im II. Abschnitte hervorgehobenen Widersprüche seine Aufklärung findet.* Allerdings muß man zugestehen, daß unsere Überlegungen das eigentliche *Wesen* des Zufalls noch nicht erschöpfend darstellen, denn sie beruhen ja auf der Annahme einer Verteilungsfunktion φ für die zufälligen Schwankungen der Ursache, von der überdies eine gewisse Eigenschaft (ein „regelmäßiger Verlauf") vorausgesetzt wird. Dieser Umstand findet seinen Ausdruck in einer — übrigens ganz zutreffenden Aussage, mit welcher sich Mathematiker[1]) über diese Fragen hinwegzusetzen lieben: Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist nicht *Erklärung* der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses, sondern die *Ermittelung* derselben auf Grundlage einer anderen Wahrscheinlichkeit, nämlich der als bekannt angenommenen Wahrscheinlichkeit eines einfacheren, dasselbe verursachenden (oder dadurch bewirkten) Vorganges.

IV.

Fassen wir das bisher Gesagte in verallgemeinerter Form zusammen:

Man nennt *Zufall* eine spezielle Art von Kau-

[1]) Siehe z. B. *E. Borel,* Le Hasard, Paris, Alcan, 1914, S. 15.

salrelationen. Man sagt nämlich gewöhnlich, daß ein Ereignis y vom Zufall abhängt, wenn es eine solche Funktion einer veränderlichen (eventl. auch ihrem Werte nach unbekannten oder absichtlich ignorierten) Ursache oder Teilbedingung x ist, daß *sein Eintreten oder Nichteintreten von einer sehr kleinen Änderung des x abhängt* („klein" im Verhältnis zum Schwankungsbereich des x).

Dieser populäre *Zufalls*begriff eignet sich jedoch nicht als Grundlage eines exakt definierbaren *Wahrscheinlichkeits*begriffes. Von einem die Größe y betreffenden mathematischen Wahrscheinlichkeitsgesetz $W(y)$ kann man erst dann sprechen, wenn die Kausalrelation $y = f(x)$ außer der erwähnten Eigenschaft noch eine spezielle besitzt: nämlich wenn die Verteilung der y, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen, *unabhängig ist von der Art der Verteilungsfunktion* $\varphi(x)$, welche die relative Häufigkeit der x bestimmt (vorausgesetzt, daß die Funktion $\varphi(x)$ einen „regelmäßigen" Verlauf habe).

Eine hierzu hinreichende mathematische Bedingung läßt sich für den Fall einer einzigen unabhängigen Variabeln leicht aufstellen, wenn man die früher dargelegten Beispiele ins Auge faßt. Es genügt nämlich, daß die Funktion $y = f(x)$ einen derartigen „oszillierenden" Charakter habe, daß:

1. für jeden x_0-Wert in dem Schwankungsbereich Ω ein solches, im Verhältnis zu Ω äußerst kleines Δx angebbar ist, daß die Funktion $y = f(x) = f(x_0 + \varepsilon \Delta x)$ *sämtliche y-Werte* (innerhalb gewisser Grenzen) *durchläuft, sobald die Variable ε die Werte von 0 bis 1 durchläuft;*
2. daß der *Bruchteil des ε-Gebietes, welcher einem gewissen Gebiet von y-Werten entspricht*, für alle innerhalb Ω gelegenen x_0-Punkte (annähernd) *gleich groß ist.*

Für jedes x gibt es also einen kleinsten Be-

reich Δx, welchem eine Variation über alle Werte y entspricht, und die Größe desselben definiert gewissermaßen die Struktur der Kausalfunktion $f(x)$; je „feinkörniger" dieselbe ist, d. h. je kleiner jene Δx sind, desto geringer sind die Anforderungen, welche man betreffs der „Regelmäßigkeit" der primären Verteilungsfunktion $\varphi(x)$ stellen muß, um ein von der Art derselben unabhängiges Resultat für die Verteilung $W(y)$ zu erhalten.

Natürlich ist dabei umgekehrt ein jeder y-Wert durch eine Menge verschiedener x realisierbar, d. h. die inverse Funktion ist in hohem Grade *vieldeutig*: die gleiche Wirkung kann durch sehr verschiedene ursächliche Konstellationen hervorgebracht werden — ebenfalls ein sehr charakteristischer Zug jener Kausalrelationen, welche die Entstehung von Wahrscheinlichkeitsgesetzen veranlassen.

Spezielle Beispiele derartiger funktionaler Zusammenhänge sind leicht zu geben, z. B.: $y = \sin\left(\frac{x}{\alpha}\right)$. Setzen wir voraus, daß α äußerst klein ist im Vergleich zum Schwankungsbereich der „Ursache" x, so wird auch $\Delta x = 2\pi\alpha$ sehr klein, und es resultiert für die „Wirkung" y eine von der Wahrscheinlichkeit der x weitgehend unabhängige Häufigkeitsverteilung:

$$W(y)\,dy = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-y^2}}\,dy.$$

Noch einfacher ist der früher betrachtete Fall der rotierenden Scheibe. Hierbei nehmen wir als x die Zeit t an, zu welcher der Schuß losgeht, als y die Winkeldistanz Θ des Treffpunktes in der Scheibenebene (von einem bestimmten Radius derselben ab gerechnet). Es ist also: $\Theta = ct - 2n\pi$, wobei die Winkelgeschwindigkeit c eine sehr große Zahl sein soll und n immer so gewählt wird, daß Θ zwischen 0 und 2π gelegen sei. Der Bereich Δx ist offenbar auch in diesem Falle

gleich $\Delta x = \frac{2\pi}{c}$, und es werden alle Winkel Θ gleich wahrscheinlich sein, wenn diese Größe klein ist im Vergleich mit dem Schwankungsbereich der Ursache.

Es gibt jedoch außerdem noch zahlreiche, der mathematischen Analyse nicht so leicht zugängliche Fälle, in denen rein physikalische Vorrichtungen die Unabhängigkeit des resultierenden Wahrscheinlichkeitsgesetzes von der Art und Ursache der primären Schwankungen mit beliebiger Annäherung hervorbringen. Als typische derartige Fälle seien nachstehende Beispiele etwas eingehender besprochen:

I. *Das Galtonsche Brett.* Es besteht aus einem geneigt aufgestellten Brett, in welches eine große Anzahl von Stiften, in regelmäßigen Horizontalreihen angeordnet, eingeschlagen wurden, und zwar ist die Anordnung derselben eine alternierende, so daß die Stifte jeder Reihe den Öffnungen der beiden benachbarten Reihen entsprechen. Werden nun von einem gegebenen Punkt aus Kugeln von passender Größe (so daß ihr Durchmesser wenig kleiner sei als der freie Abstand zwischen zwei benachbarten Stiften) über das Brett rollen gelassen, so werden sie infolge der Zusammenstöße mit jenen Stiften aus ihrer Bahn in unregelmäßiger Weise abgelenkt und sammeln sich schließlich nach Passierung sämtlicher Stiftreihen in den am unteren Brettrande angebrachten Behältern an, so daß die Höhe, zu der sie in denselben reichen, direkt als Maß der Wahrscheinlichkeit der betreffenden Lage dienen kann.

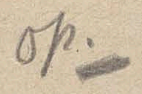
Es zeigt sich, daß sie sich daselbst gemäß dem Gaußschen Fehlergesetz: $y = A\,e^{-\alpha x^2}$ anordnen, so daß die meisten sich in der Fallinie des Ausgangspunktes ansammeln, während ihre Zahl nach beiden Seiten zu nach Maßgabe der bekannten Glockenkurve abnimmt. Dieses Resultat ist mathematisch leicht erklärlich, sobald man annimmt, daß eine jede Kugel nach dem Austritt

aus der Öffnung zwischen zwei Stiften gleiche Wahrscheinlichkeit dafür bietet, daß sie die nächste Stiftreihe zur Rechten oder zur Linken des darunterstehenden Stiftes passieren werde.

Erfolgt nämlich dieser Vorgang ganz zufällig, mit gleicher Wahrscheinlichkeit für rechts und links, so läßt sich die Wahrscheinlichkeit, daß die Kugel beim Passieren der $m$ten Stiftreihe eine dem n-fachen Nagelabstand gleiche seitliche Entfernung aus der Mittellinie besitze, nach dem bekannten Bernoullischen Satze zu

$$W(n) = \left(\frac{1}{2}\right) \frac{m!}{\left(\frac{m}{2} - n\right)! \left(\frac{m}{2} + n\right)!}$$

bestimmen, was für große Werte der Zahl m angenähert in die vorerwähnte Formel übergeht. Es wird also die komplizierte Gesamterscheinung auf einfache Elementarvorgänge zurückgeführt, aber es bleibt noch aufzuklären, wieso letztere als ganz zufällig angesehen werden können, obwohl eigentlich die Anfangslage und Anfangsgeschwindigkeit der Kugel die weitere Bewegung derselben eindeutig bestimmen sollte.



Um unkontrollierbare Nebenumstände möglichst auszuschalten, idealisieren wir das Beispiel durch Voraussetzung vollständiger Glattheit der schiefen Ebene, exakter Anordnung der Stifte, exakter Kugelgestalt der Kügelchen und nehmen wir ferner an, der Kugeldurchmesser sei fast genau gleich dem freien Abstand der Stifte, und die Stöße der Kugeln an letzteren mögen unelastisch verlaufen. Offenbar ist dann die nach Austritt der Kugel zwischen zwei Stiften spurenweise übrig bleibende Horizontalkomponente der Geschwindigkeit allein maßgebend dafür, ob der nächste Stift auf der rechten oder linken Seite getroffen wird, ob also die Kugel denselben auf der einen oder anderen Seite passieren wird. Jene Horizontalkomponente ist aber das Resultat vielfacher Reflexionen der Kugel zwischen jenen

zwei Stiften und ist durch die Lage der Zentrilinie beim ersten Stoß zu der betreffenden Stiftreihe eindeutig bestimmt. Eine ganz minimale Lagenänderung dieser Zentrilinie genügt, um zu bewirken, daß die Richtung jener Horizontalkomponente umgekehrt wird; bei weiterer äußerst geringer Lagenänderung wird dieselbe wieder umgekehrt usw.

Wir erkennen im Obigen *die wesentlichen Züge des „geregelten“ Zufalls*: 1. „Kleine Ursache große Wirkung“; 2. den oszillierenden Charakter der Kausalrelation, welcher sich ungenau, aber bezeichnend auch durch die Worte ausdrücken läßt „Verschiedene Ursachen gleiche Wirkungen“; 3. die annähernd gleichmäßige Verteilung der Chancen der Elementarereignisse. Im Grenzfalle, wenn der Kugeldurchmesser genau gleich dem freien Abstand der Stifte ist, verliert die Funktion, welche den Zusammenhang zwischen Anfangskonstellation und Endlage der Kugel darstellt, den analytischen Charakter. Die Chancen für eine positive und negative Verschiebung werden bei jedem Stoß genau gleich groß, und es wird sich die Gaußsche Glockenkurve herstellen, ganz unabhängig davon, wie klein auch die Schwankung der Anfangskonstellation der Kugeln sei (vorausgesetzt, sie ist nicht genau gleich Null). Wir erhalten *ein Modell eines sozusagen ideal zufälligen Vorganges.* Dieser Vorgang bildet, nebstbei bemerkt, eine treffliche Illustration einer ganzen Klasse physikalischer Erscheinungen, welche wir im allgemeinen als Diffusion und Wärmeleitung zu bezeichnen pflegen. Ohne an dieser Stelle in Einzelheiten einzugehen, erwähnen wir beispielsweise, daß die seitlichen Verschiebungen, welche die Kugel beim Hindurchrollen durch die aufeinanderfolgenden Stiftreihen erfährt, genau mit den der sogen. Brownschen Molekularbewegung entsprechenden Verschiebungen übereinstimmen. Und würden wir diese Versuche dadurch modifizieren, daß wir ein „begrenztes Galtonsches

Brett“ verwenden, dessen Seitenausdehnung durch zwei in der Fallinie verlaufende Leisten begrenzt ist, und daß wir aus allen Öffnungen der obersten Stiftreihe auf der rechten Hälfte des Brettes schwarze, auf der linken Hälfte weiße Kugeln austreten lassen, so würde deren allmähliche Vermischung beim Passieren der Stiftreihen genau der Diffusion zweier Gase in den bekannten Versuchen *Loschmidts* entsprechen. Besitzt das „begrenzte Galtonsche Brett“ eine hinreichende Länge, so muß eine homogene Endverteilung resultieren.

II. Ein in mathematischer Hinsicht komplizierteres, aber physikalisch noch einfacheres Beispiel ist das folgende: Denken wir uns ein unregelmäßig, aber im übrigen *beliebig geformtes Gefäß mit vollkommen reflektierenden Wänden*, in welches wir durch ein sehr kleines, in einer Wand angebrachtes Loch ein elastisches Kügelchen (am besten ein Gasmolekül) hineinschleudern, und überlegen wir, wann das Kügelchen wieder durch jenes Loch aus dem Gefäß austreten dürfte. Sofern die Öffnung im Verhältnis zur ganzen Wandfläche genügend klein ist, wird die Kugel im allgemeinen infolge der vielfachen Reflexionen einen äußerst komplizierten Zickzackweg zurücklegen müssen, bis sie die Austrittsstelle erreicht, und es ist klar, daß eine ganz minimale Änderung der Anfangsrichtung noch längere Zeit eine sehr erhebliche Änderung der Bahn und damit auch eine bedeutende Änderung der Austrittszeit hervorrufen muß. Ebenso begreift man, daß dieselbe Austrittszeit mittels sehr verschiedener Anfangskonstellationen zu erreichen ist — man braucht hierzu nur verschiedene Austrittsbahnen rückwärts zu verfolgen. Es scheint also die Möglichkeit einer Wahrscheinlichkeitsberechnung gegeben zu sein.

Allerdings ist eine exakte mathematische Analyse wohl noch nicht durchgeführt worden, aber physikalische Überlegungen aus dem Gebiete der kinetischen Gastheorie, wie auch der Strahlungs-

theorie, wo dasselbe Problem in anderer Form zur Sprache kommt, machen es plausibel, daß bei ganz beliebiger Verteilung der Anfangsrichtungen im Laufe der Zeit eine Ausgleichung der Wahrscheinlichkeit stattfindet, so zwar, daß dann jedes Volumelement jenes Hohlraumes für die Kugel einen gleich wahrscheinlichen Aufenthaltsort bildet, daß sie sich in irgend einer Richtung gleich wahrscheinlich bewegt und daß sie durchschnittlich auf jedes Flächenelement der Gefäßwand gleich häufig auftrifft.

Wird die Geschwindigkeit der Kugel mit c, das Volumen des Gefäßes mit V, und der Querschnitt der freien Öffnung mit ω bezeichnet, so läßt sich nach Analogie mit gastheoretischen Rechnungen leicht nachweisen, daß die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Austritt der Kugel während des Zeitraumes τ erfolge, beträgt:

$$W = \frac{\omega c \tau}{4V};$$

also ist die durchschnittlich bis zum Austritt der Kugel aus dem Gefäß verfließende Zeit:

$$T = \frac{4V}{\omega c}.$$

In noch weit höherem Grad kommen übrigens *die charakteristischen Züge des (geregelten) Zufalls* zur Geltung, wenn es sich um die Bewegung einer Schar von Kugeln handelt, welche in ein geschlossenes Gefäß eingesetzt werden, da dann die gegenseitigen Zusammenstöße derselben vor allem die Wirkung haben, den ursprünglich vorhandenen Bewegungszustand in unregelmäßiger Weise zu stören.

Es ist das ein Spezialfall der von *Boltzmann* als allgemeine Eigenschaft molekularer Systeme erkannten Tendenz zur molekularen Unordnung, auf welcher die kinetische Erklärung des Entropiesatzes beruht.

V.

Die Überlegungen, durch die wir im Abschnitt III und IV *das Wesen des Zufalls* zu

charakterisieren und die Gesetzmäßigkeit seiner Wirkungen zu erklären suchten, scheinen mir, wie bereits vorher angedeutet wurde, in zweifacher Hinsicht nicht ganz befriedigend zu sein:

1. Es wurde angenommen, daß die „Ursache" x ein *Wahrscheinlichkeitsgesetz* $\varphi(x)$ befolgt, also wurde dieser Begriff als etwas Primäres vorausgesetzt. Gegenstand der Erklärung war nur die *Unveränderlichkeit* des Wahrscheinlichkeitsgesetzes für die resultierende Wirkung.
2. Es wurden gewisse *Eigenschaften* der Funktion $\varphi(x)$ vorausgesetzt, welche wir als „Regelmäßigkeit" bezeichnet haben.

Diese zwei Bemerkungen machen uns vor allem auf einen mehr formalen Mangel unserer Darstellung aufmerksam. Was bedeutet es nämlich, wenn wir sagen, daß die Wahrscheinlichkeit des Eintretens des x (Handbewegung beim Ingangsetzen der Roulette, Orientierung des fallengelassenen Würfels, der Kugel auf dem Galtonschen Brett) durch eine regelmäßige Verteilungsfunktion $\varphi(x)$ bestimmt ist? Handelt es sich um ein x, welches wir nicht auf noch frühere Ursachen zurückführen können, so wäre das Gesetz $\varphi(x)$ nur empirisch erkennbar. Unmittelbar gegeben sind aber nur diskrete Einzelfälle, und erst durch Abstraktion auf Grund unzählig vieler Spezialfälle kommt man dazu, auf deren Grund die Häufigkeitsfunktion $\varphi(x)$ zu formulieren, von welcher die Eigenschaft (2) vorausgesetzt wird.

Es wäre also weit rationeller, den Umweg über die abstrakte Verteilungsfunktion $\varphi(x)$ zu vermeiden und direkt nur eine gewisse Menge von Einzelfällen in Betracht zu ziehen. Versuchen wir also anstatt der hervorgehobenen Stelle des IV. Abschnittes folgenden Satz zu setzen: Von einer mathematischen Wahrscheinlichkeit kann nur dann die Rede sein, falls die den kausalen Zu-

sammenhang zwischen zufälliger[1]) Ursache x und Wirkung y darstellende Funktion $y = f(x)$ derart beschaffen ist, daß einer *beliebig verteilten Menge von x-Werten* immer *annähernd eine und dieselbe Verteilung der zugehörigen y-Werte entspricht.* Dabei soll das Wörtchen „annähernd“ ausdrücken, daß exakte Identität der y-Verteilungen nur bei unendlich zahlreichen Einzelfällen (Mengen) zu erwarten ist.

Am klarsten übersieht man diese Verhältnisse bei der rotierenden Scheibe: im allgemeinen wird dieselbe von den Treffpunkten ungefähr gleichförmig überdeckt sein, falls eine genügende Anzahl von Schüssen in *beliebigen Zeitintervallen* abgegeben wird, und die Verteilung der Trefferdichte auf der Scheibe wird verhältnismäßig desto gleichförmiger sein, je größer die Anzahl der Schüsse. Nun sind aber offenbar auch ganz abweichende Ergebnisse möglich. Wären z. B. alle *Zeitintervalle gleich und mit der Umlaufszeit der Scheibe kommensurabel,* so würden sich alle Treffpunkte auf gewisse Stellen konzentrieren, während der Rest der Scheibe leer bleiben würde. Das wäre ein entscheidender Einwand gegen die Anwendbarkeit der in Rede stehenden Formulierung unseres Satzes, wenn uns nicht die Erwägung zu Hilfe käme, daß derlei abweichende Anordnungen nur gewisse „singuläre“ Ausnahmefälle bilden, deren Häufigkeit im Verhältnis zu allen möglichen Anordnungen offenbar verschwindend klein ist. In der Mengenlehre beweist man bekanntlich, daß es — populär ausgedrückt — unendlichmal so viele irrationale Zahlen gibt als ganze Zahlen, und in analoger Weise sieht man ein, daß unter allen möglichen Intervallängen diejenigen, welche mit der vorgegebenen Umlaufszeit kommensurabel sind, nur einen unendlich kleinen Bruchteil bilden. Werden also aufs Geratewohl verschiedene Intervalllängen gewählt, so ist es unendlich wenig wahr-

[1]) „Zufällig“ in dem vorher definierten Sinne.

scheinlich, daß man gerade solche treffen werde, welche mit der vorgegebenen exakt kommensurabel sind. Somit wird „im allgemeinen" eine annähernd *gleichförmige* Überdeckung der Scheibe resultieren.

Analoges gilt auch in anderen Fällen. Hat z. B. das im Abschnitt IV (2) erwähnte Gefäß die Gestalt eines „mathematischen Würfels", so ist leicht einzusehen, daß die hineingeschleuderte Kugel sich trotz beliebig vieler Reflexionen nur in einer von acht bestimmten Richtungen bewegen kann. Es genügt aber eine beliebig kleine Abweichung der Neigungswinkel der Wände, um diese Anordnung nach entsprechend langer Zeit zum Verschwinden zu bringen und sämtliche Richtungen des Raumes für die Bewegung der Kugel gleich wahrscheinlich zu machen. Falls also nicht ein speziell „ad hoc" mathematisch genau konstruiertes Gefäß ausgesucht wird, so müssen innerhalb einer Schar derartiger Kugeln die Reflexionen derselben an den Gefäßwänden (außerdem auch die gegenseitigen Zusammenstöße) eine *Gleich*verteilung der Bewegungsrichtungen im Raume hervorbringen.

Bis in alle Einzelheiten lassen sich diese Verhältnisse in einem ähnlichen, aber zweidimensionalen Beispiele übersehen, in welchem die mit den Reflexionen an den Wänden verbundenen Diskontinuitäten vermieden werden sollen. Stellen wir uns einen Punkt vor, welchen wir unter Einfluß willkürlich gewählter, voneinander unabhängiger elastischer Kräfte X, Y eine zusammengesetzte Schwingungsbewegung: $x = a \sin \alpha t$, $y = b \sin \beta t$ ausführen lassen, wie dies beispielsweise bei der Darstellung der Lissajouschen Figuren in der Akustik geschieht. Würde es uns gelingen, die betreffenden elastischen Systeme (Stimmgabeln) derart abzugleichen, daß die beiden Schwingungszahlen miteinander kommensurabel werden, so würde der betreffende Punkt nur eine geschlossene Kurve in periodischer Weise zurücklegen, ohne die übrigen Teile

der Fläche des Rechteckes $a\,b$ zu durchstreichen. Kommt aber hierbei mathematische Genauigkeit in Betracht, so würde dies offenbar einen ganz ausnahmsweisen Spezialfall bilden, welchen wir mit menschlichen Hilfsmitteln nie zu erreichen hoffen können, da es unendlich wahrscheinlicher ist, daß sich ein irrationales Verhältnis der Schwingungszahlen einstellt. Im allgemeinen entsteht also eine ungeschlossene Kurve, welche jedem innerhalb des Rechteckes $a\,b$ gelegenen Punkte beliebig nahe kommt, und zwar findet man leicht, daß die relative Häufigkeit (gleich der relativen Zeitdauer), mit welcher der schwingende Punkt in einem gewissen, an der Stelle x, y gelegenen Flächenelement angetroffen wird, gegeben ist durch:

$$W(x, y)\,dx\,dy = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{a^2 - x^2}\sqrt{b^2 - y^2}}\,dx\,dy,$$

und zwar ist dieses Wahrscheinlichkeitsgesetz, wie wir sehen, von der Art der Festsetzung der Schwingungszahlen (bzw. der Kräfte X, Y) im allgemeinen ganz unabhängig. — Bemerkt sei dazu noch, daß durch die obigen Schwingungsgleichungen zu jedem Punkt der durchlaufenen Fläche eine (bzw. zwei) Fortschreitungsrichtung und eine gewisse Bewegungsgeschwindigkeit zugeordnet ist. Falls nun anstatt eines einzigen, vom Nullpunkt ausgehenden Punktes eine ganze Schar derartiger, aber anfangs willkürlich über jene Fläche verteilter Punkte gemäß jenen Formeln in Bewegung gesetzt wird, so ergeben ganz analoge Überlegungen wie vorher, daß im allgemeinen nach entsprechend langer Zeit die Spuren der ursprünglichen Anordnung der Punkte verschwinden, und eine von der Art derselben unabhängige Verteilung nach Maßgabe des eben angeführten Wahrscheinlichkeitsgesetzes resultiert.

In ähnlicher Weise ist leicht einzusehen, daß andauerndes Durchrühren zweier in einem Gefäß anfänglich gesonderter Farbstofflösungen im allgemeinen eine homogene Mischung bewirkt, daß

eine Schar von Gasmolekülen, welche in einem geschlossenen Raume ursprünglich beliebig angeordnet wurden, sich im allgemeinen im Laufe der Zeit über denselben ohne Rücksicht auf die anfängliche Anordnung so verteilt, als ob ihre Lagen ganz zufällig (mit gleicher Wahrscheinlichkeit für alle Volumelemente) wären. Dies rechtfertigt eben die Benützung der üblichen Methoden der kinetischen Gastheorie zur Berechnung solcher Größen, in denen die Durchschnittswirkung einer großen Molekülzahl zum Vorschein kommt.

In allen derartigen Fällen sind singuläre Ausnahmefälle theoretisch möglich, kommen aber wegen ihrer verschwindend geringen Wahrscheinlichkeit praktisch nicht in Betracht. Wenn wir aber, um diesbezüglichen Einwänden zu begegnen, deren Möglichkeit in der Formulierung unseres vorherigen Satzes (S. 259) berücksichtigen, so müssen wir in demselben das Wörtchen „immer" durch den Ausdruck „im allgemeinen" — d. h. mit Ausnahme prozentuell verschwindend wenig zahlreicher Ausnahmefälle — ersetzen.

Vielleicht ist aber folgende, etwas präzisere Form vorzuziehen: Für eine Wirkung y, welche von der unvollständig bestimmten Ursache x abhängt, besteht ein Wahrscheinlichkeitsgesetz, wenn die den betreffenden kausalen Zusammenhang darstellende Funktion $y = f(x)$ gewisse Eigentümlichkeiten besitzt, nämlich wenn: 1. *kleine Änderungen von* x im allgemeinen *große Änderungen von* y *hervorrufen*; 2. die Menge solcher *Gruppierungen von* x*-Werten, welchen annähernd eine und dieselbe Gruppierung von* y*-Werten entspricht, unermeßlich zahlreicher ist als die Menge der* x*-Gruppierungen, welchen merklich abweichende* y*-Verteilungen entsprechen.* Vom mathematischen Standpunkt aus wäre dieser Satz gewiß noch schärfer zu fassen, aber die obige Formulierung dürfte den Grundgedanken, auf welchen es hier ankommt, in genügend verständlicher Weise hervorheben. Wir machen auf einen Umstand noch ausdrücklich aufmerk-

sam, welcher in dem eben Gesagten wie auch in fast allen unseren Beispielen klar zutage tritt: vollständige Zufälligkeit und dementsprechende Reinheit der Wahrscheinlichkeitsrelation bildet offenbar einen *Idealfall*, welcher in Wirklichkeit mit größerer oder geringerer *Annäherung* erreicht wird. In den praktischen Anwendungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist man meist durch eine sehr rohe Annäherung vollkommen befriedigt.

VI.

Noch wichtiger als die mehr formale Frage, die uns im vorigen Abschnitt hauptsächlich beschäftigte, scheint mir die Frage nach der *eigentlichen Genese des Zufalls* zu sein, welche durch den ersten der beiden daselbst erwähnten Einwände nahegelegt wird, teilweise allerdings auch schon in den betreffenden Beispielen ihre Beantwortung findet. Die zufällige Variabilität der Ursachen, auf welche sich unsere ursprüngliche Erklärung des Gesetzes der großen Zahlen stützte, ist ohne weiteres verständlich, wenn es sich um Experimente handelt, welche von menschlicher Hand ausgeführt werden; es wird da der Zufall in letzter Linie auf psychologisch-physiologische primäre Ursachen zurückgeführt. Wenn aber der Mensch, samt seinen unberechenbaren launischen Einfällen, ganz ausgeschaltet wird, wenn man annimmt, daß die einen physikalischen Vorgang bestimmenden Umstände ganz exakt definiert sind, kann da der Begriff der Wahrscheinlichkeit keine Anwendung finden?

Meist wird dies behauptet, während uns die Beispiele der beiden vorhergehenden Abschnitte eines Besseren belehren. Wird eine einzige Kugel in ganz bestimmter Weise auf ein „begrenztes" Galtonsches Brett gesetzt, dessen Stiftreihen außerordentlich zahlreich sind, und entwirft man eine Statistik der Stellen, wo sie die nacheinanderfolgenden Reihen passiert, so wird man finden, daß alle Werte der Abszissen *annähernd* gleich häufig vorkommen; sie sind gleich wahr-

scheinlich, und diese Behauptung bezeichnet hier eine objektive, vom Menschen unabhängige Tatsache. Im Beispiele (2) läßt sich der Ort, welchen die in bestimmter Richtung hineingeschleuderte Kugel in einem bestimmten Zeitpunkt einnehmen wird, theoretisch voraus berechnen, falls die Gestalt des Gefäßes mathematisch exakt gegeben ist, aber ohne weiteres ist ersichtlich, daß alle Bewegungsrichtungen im Laufe der Zeit *gleich häufig* vorkommen, und daß die Kugel alle Teile des Gefäßes annähernd gleich häufig passieren wird.

Ebenso ist im Beispiele der zusammengesetzten Schwingung (V. Abschnitt) die Wahrscheinlichkeit ganz klar definiert als *relative Häufigkeit*, mit welcher der bewegliche Punkt (innerhalb langer Zeiträume) in einem gewissen Flächengebiete anzutreffen ist, obwohl dabei von einer Variation der die Bewegung bestimmenden Anfangsbedingungen gar nicht die Rede ist.

Es läßt sich nämlich der Begriff der objektiven Wahrscheinlichkeit in ganz analoger Weise auf alle solche unvollständig determinierten („zufälligen“ im früher dargelegten Sinne) Erscheinungen anwenden, bei welchen *dieselbe Art Elementarvorgang sich* (eventuell mit variablem Parameter*) *im Laufe der Zeit immer wieder wiederholt*. Bekanntlich beweist die statistische Mechanik, daß derlei Bewegungsvorgänge durchaus nicht selten sind; im Gegenteil, es gehören dazu, laut einem Satze von *Poincaré*, die Bewegungen aller „endlichen“ mechanischen Systeme konservativer Art. Sie sind sämtlich „quasiperiodisch“ (in speziellen Fällen exakt periodisch), d. h. daß sich der (beliebige) Anfangszustand im Laufe der Zeit mit beliebiger Annäherung wiederholt. Handelt es sich übrigens um Bewegungen molekularer Systeme, so wird die Häufigkeit gleichartiger Fälle noch durch den Umstand ganz außerordentlich vermehrt, daß die Individualität chemisch identischer Moleküle für physikalische Erscheinungen gleichgültig ist.

Um die Gesetze des physikalischen Zufalls und den Begriff der objektiven, vom Menschen vollständig unabhängigen Wahrscheinlichkeit noch klarer zu verstehen, wollen wir schließlich noch einen Vorgang näher betrachten, den man geradezu als den vollkommensten Typus dessen betrachten kann, was „zufällig" genannt wird, d. i. den radioaktiven Atomzerfall. Bekanntlich erleiden die Atome des Radiums im Laufe der Zeit eine Umwandlung, indem sie sich durch explosive Abscheidung je eines α-Teilchens in Atome der Emanation transformieren. Dabei läßt sich aber an den Radiumatomen keinerlei progressive Evolution (nach Art des Alterns der Organismen) wahrnehmen. Wann ein beliebiges, gerade ins Auge gefaßtes Atom eine Umwandlung erleidet, das ist absolut zufällig, und es läßt sich das in keiner Weise weder beeinflussen noch voraussehen. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein solcher Prozeß gerade im Zeitraum dt stattfindet, ist ebenso groß für „junge" wie für „alte" Atome und läßt sich somit mathematisch durch die einfache Beziehung: $W\,dt = \lambda\,dt$ ausdrücken, wo λ eine absolute Konstante ist, welche durch keine uns bekannten Agentien verändert werden kann. Auf Grund des vorher Gesagten kann man nun ohne weiteres ein Modell des in dieser Erscheinung zum Vorschein kommenden Zufalls geben: das öfters erwähnte Gefäß des IV. Abschnittes mit der hineingeschleuderten Kugel. Wir bemerkten schon a. a. O., daß für die Kugel eine unveränderliche Austrittswahrscheinlichkeit besteht, und man braucht nur die Größe derselben gleich der radioaktiven Umwandlungskonstante zu setzen: $\lambda = \frac{\omega c}{4V}$. Hätten wir eine große Anzahl derartiger Gefäße von gleichem Volumen und würde in jedem derselben eine solche Kugel in anderer Richtung in Bewegung gesetzt, so würden die beiden in Rede stehenden Ereignisse — Heraustritt einer Kugel aus einem der Gefäße und Abschleuderung eines α-Teilchens aus einem

der Radiumatome (von gleicher Anzahl) — in vollständig analoger Weise vor sich gehen.

Selbstverständlich glaube ich nicht, daß die Radiumatome wirklich einen derartigen Bau besitzen, aber es kommt uns nur auf die prinzipielle Möglichkeit der Konstruktion eines rein physikalischen Modells des „geregelten" Zufalls an. Sie beweist jedenfalls, daß *der scheinbare Widerspruch*, welchen die im II. Abschnitt aufgeworfene Frage (2) betonte, in Wirklichkeit *nicht besteht*, und daß der Zufall — in dem in der Physik gebräuchlichen Sinne des Wortes — sehr wohl durch exakt definierte, gesetzmäßige Ursachen hervorgebracht werden kann.

Naturgemäß spielt diese Art Zufall die maßgebende Rolle in der Welt der Moleküle, und es gibt manche hierher gehörige Erscheinungen, wie z. B. die Brownsche Molekularbewegung, welche das Wesen desselben in äußerst anschaulicher Weise erkennen lassen. Man könnte vielleicht, um solche Fälle den durch willkürliches Eingreifen eines Organismus verursachten gegenüber zu stellen, von „molekularem" und „physiologischem" Zufall sprechen; diese beiden Arten werden sich auch oft zu komplizierteren Zufallserscheinungen verketten.

Wenn beispielsweise ein Draht durch wachsende Spannung, eine Hohlkugel durch inneren Überdruck beansprucht wird, so sagt man, der Ort, wo ein Bruch stattfindet, die Form der Bruchstücke, hänge vom Zufall ab. Den wirklichen Grund können kleine Ungleichförmigkeiten der Dicke und dergl. bilden, welche indirekt auf den physiologischen Zufall bei Herstellung des betreffenden Objektes zurückzuführen sind. Aber auch wenn diese durch genügend große Sorgfalt, entsprechende maschinelle Vorrichtungen beliebig klein gemacht sind, bleiben zufällige Ungleichförmigkeiten im Gefüge des Materials, welche vom molekularen Zufall herrühren. Wird beim Guß der Hohlkugel auch noch so vorsichtig verfahren, es müssen derartige Ungleichförmigkeiten ein-

109

treten. Das Erstarren beruht nämlich auf der Bildung von Kristallisationskernen in der unterkühlten Schmelze; die Zahl und Anordnung derselben werden aber außer von gesetzmäßigen Einflüssen (Geschwindigkeit der Abkühlung und dergl.) in ausschlaggebender Weise vom molekularen Zufall bestimmt; der letztere ist somit für die faktisch entstehende mikrokristallinische Struktur des Stückes verantwortlich, von welcher die Festigkeitseigenschaften abhängen. Daß hier zufällige Molekularkonstellationen so merkbare Folgen nach sich ziehen, beruht, nebstbei bemerkt, wieder darauf, daß es sich dabei in letzter Linie um Überschreitungen labiler Gleichgewichtszustände handelt.

Auf die weiter sich aufdrängenden Fragen, ob sich alle Zufallserscheinungen auf die obigen zwei Typen zurückführen lassen, und inwiefern vielleicht im Grunde genommen auch der „physiologische“ im „molekularen“ wurzelt, wollen wir nicht weiter eingehen. Überhaupt sei nochmals wiederholt, daß unsere Studie durchaus nicht eine erschöpfende Analyse aller mit dem Wahrscheinlichkeitsbegriff zusammenhängenden Probleme geben sollte. Es scheint uns aber ein auch *für den Philosophen äußerst wichtiges Ergebnis* zu sein, wenn sich auch nur auf einem beschränkten Gebiet — dem der mathematischen Physik — zeigen läßt, daß der *Begriff der Wahrscheinlichkeit,* in der üblichen Bedeutung eines *gesetzmäßigen Häufigkeitswertes zufälliger Ereignisse, eine streng objektive Bedeutung besitzt,* daß man den *Begriff und die Genese des Zufalls* genau präzisieren kann, auch wenn man am Determinismus festhält, und daß sich dabei *das Gesetz der großen Zahlen* nicht als ein mystisches Prinzip und nicht als rein empirischer Erfahrungssatz, sondern als ganz einfache *mathematische Folge der speziellen Form ergibt, welche in derlei Fällen den kausalen Zusammenhang darstellt.*

Vielleicht ist es nicht überflüssig, schließlich noch zu bemerken, daß der Wahrscheinlichkeits-

110

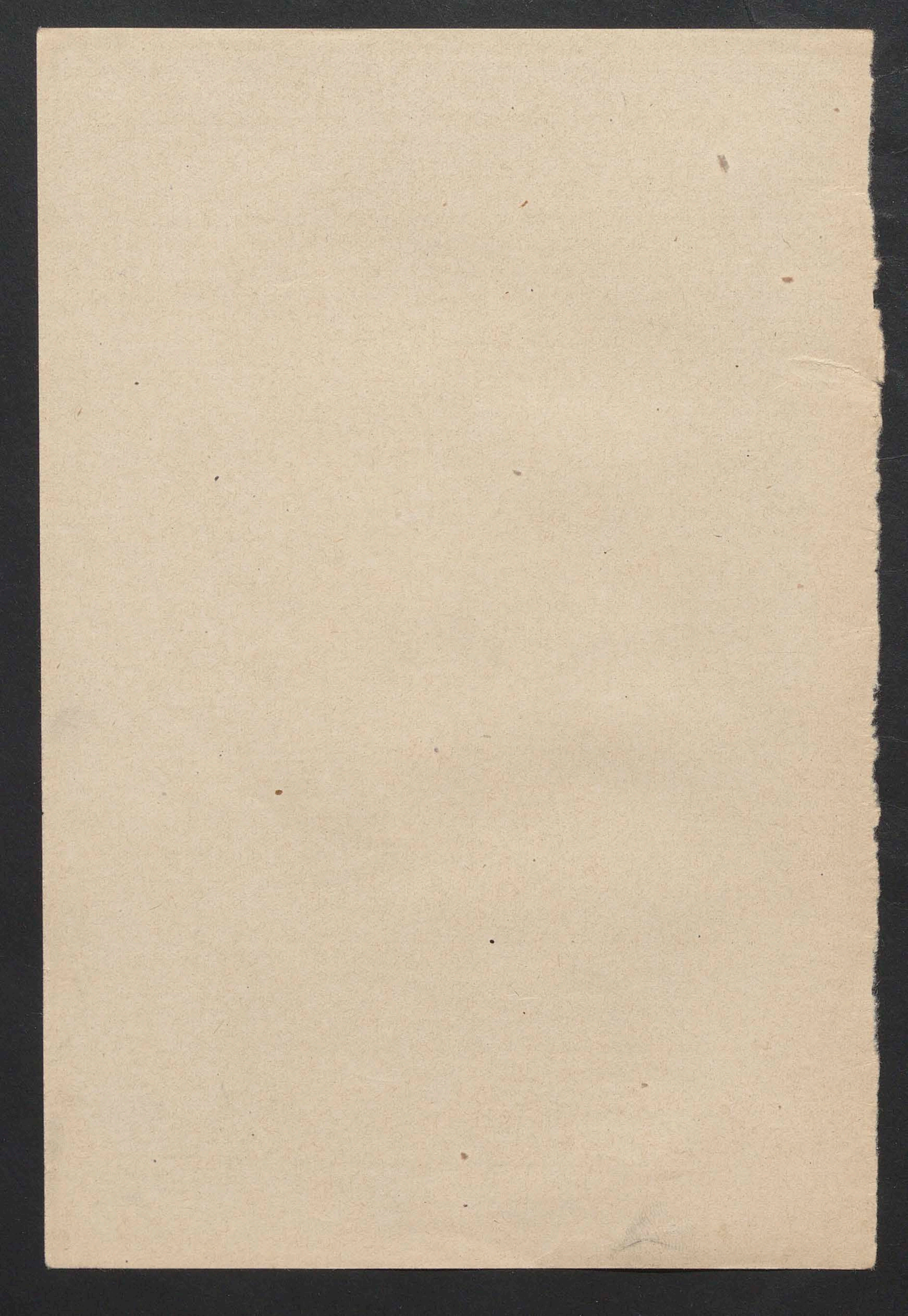
rechnung im Sinne dieser Auffassungsweise natürlich nicht der Wert eines von den sonstigen Naturerkenntnissen unabhängigen, neuen Forschungsprinzipes zukommt, da sie ja nur eine vereinfachende statistische Schematisierung gewisser in der Natur sehr häufig auftretender funktionaler Zusammenhänge bildet, deren exakte Untersuchung infolge großer Kompliziertheit sehr erschwert ist. Bei der charakteristischen Entwicklung der heutigen Physik im Sinne einer Auflösung der physikalischen Erscheinungen in „verborgene" Teilereignisse spielen Zufälligkeit und Wahrscheinlichkeit eine wichtige Rolle als anschauliche, abklärende Hilfsbegriffe, könnten aber zur Not auch vollständig entbehrt werden, indem sich jene schematisierenden Methoden durch exakt statistische Berechnungen vertreten lassen sollten[1]). Die hier skizzierte Theorie macht uns allerdings auch den Grund begreiflich, warum die Anwendung jener Begriffe unter Verschleierung der Details der funktionellen Zusammenhänge doch hinreichend genaue Endergebnisse zu liefern pflegt, und wir verstehen, daß sie namentlich im Gebiet solcher empirischen Wissenschaften, wo eine exakte mathematische Untersuchung der Teilereignisse ausgeschlossen ist, ein unschätzbares Hilfsmittel bildet.

nazwiska autyków spac.

---

[1]) Darin besteht wohl der wesentliche Unterschied zwischen der kinetischen Gastheorie (*Maxwell, Boltzmann* u. a.) und der statistischen Mechanik (*Gibbs*), daß sich erstere auf gewisse, zwar recht plausible, aber nicht exakt bewiesene Zufalls- und Wahrscheinlichkeitsideen stützt, während letztere (wenigstens im Programm, wenn auch nicht ganz in der Durchführung) unter Vermeidung derselben auf exakt statistische Methoden aufgebaut ist.

Druck von H. S. Hermann in Berlin.



Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Analyse und Konstitutionsermittlung organischer Verbindungen. Von Dr. **Hans Meyer**, o. ö. Professor der Chemie an der Deutschen Universität zu Prag. Dritte, vermehrte und umgearbeitete Auflage. Mit 323 in den Text gedruckten Figuren. 1916.
Preis M. 42,—; gebunden M. 44,80.

Die quantitative organische Mikroanalyse. Von Dr. **Fritz Pregl**, o. ö. Professor der medizinischen Chemie und Vorstand des medizinisch-chemischen Instituts an der Universität Graz. Mit 38 Textabbildungen.
Preis M. 8.—; gebunden M. 9.—.

Untersuchungen über das Ozon und seine Einwirkung auf organische Verbindungen. (1903—1916). Von **Carl Dietrich Harries**. Mit 18 Textfiguren. 1916.
Preis M. 24,—; gebunden M. 27,80.

Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Sieben Abhandlungen aus dem chemischen Laboratorium der Königlich Bayrischen Akademie der Wissenschaften in München von Dr. **Richard Willstätter**, Professor, Geheimer Hofrat, und Dr. **Arthur Stoll**.
Preis M. 28.—; gebunden M. 36.—.

Untersuchungen über Chlorophyll. Methoden und Ergebnisse. Von Professor Dr. **Rich. Willstätter** und Dr. **Arthur Stoll**. (Mitteilung aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie). Mit 16 Textfiguren und 11 Tafeln. 1913.
Preis M. 18,—; gebunden M. 20,50.

Grundriß der Fermentmethoden. Ein Lehrbuch für Mediziner, Chemiker und Botaniker. Von Professor Dr. **Julius Wohlgemuth**, Assistent am Kgl. Pathologischen Institut der Universität Berlin. 1913.
Preis M. 10,—; gebunden M. 10,80.

Die Wasserstoffionenkonzentration. Ihre Bedeutung für die Biologie und die Methoden ihrer Messung. Von Professor Dr. **Leonor Michaelis**, Privatdozent an der Universität Berlin. Mit 41 Textfiguren. 1914.
Preis M. 8,—; gebunden M. 8,80.

Bildet Band I der „Monographien aus dem Gesamtgebiet der Physiologie der Pflanzen und der Tiere“. Herausgegeben von **F. Czapek**-Prag, **M. Gildemeister**-Straßburg, **E. Godlewski jun.**-Krakau, **C. Neuberg**-Berlin, **J. Parnas**-Straßburg. Redigiert von **F. Czapek** und **J. Parnas**. Jeder Band ist einzeln käuflich.

P-Tabellen, enthaltend ausgerechnet die Wasserstoffexponentwerte, die sich aus gemessenen Millivoltzahlen bei bestimmten Temperaturen ergeben. Gültig für die gesättigte Kalomel-Elektrode. Von Dr. **Arvo Ylppö**. 1917.
Preis gebunden M. 3.60.

Teuerungszuschlag auf geheftete Bücher 20%, auf gebundene Bücher 30%.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Demnächst erscheint:

Raum — Zeit — Materie

Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie

Von **Hermann Weyl**

Mit 13 Textfiguren. Preis etwa M. 10,—.

Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie

Von **Erwin Freundlich**

Mit einem Vorwort von **Albert Einstein**

Zweite, erweiterte Auflage. 1917. Preis M. 3,60.

Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik

Zur Einführung in das Verständnis der allgemeinen Relativitätstheorie

Von **Moritz Schlick**

1917. Preis M. 2,40.

Die Atomionen chemischer Elemente und ihre Kanalstrahlen-Spektra

Von **Dr. J. Stark**

Professor der Physik an der Technischen Hochschule Aachen

Mit 11 Figuren im Text und auf einer Tafel. 1913. Preis M. 1,60.

Zur Krise der Lichtäther-Hypothese

Von Professor Dr. **P. Ehrenfest**

1913. Preis M. —,60.

Ueber die Konstitution und Konfiguration von Verbindungen höherer Ordnung

Von Professor Dr. **Alfred Werner**, Zürich

1914. Preis M. 1,20.

Lehrbuch der Thermochemie und Thermodynamik

Von Professor Dr. **Otto Sackur**

Privatdozent an der Universität Breslau

Mit 46 Textfiguren. 1912. Preis M. 12,—; gebunden M. 13.—.

Einführung in die Mikroskopie

Von Professor Dr. **P. Mayer** in Jena

Mit 28 Textfiguren. 1914. Preis gebunden M. 4,80.

Teuerungszuschlag auf geheftete Bücher 20%, auf gebundene Bücher 30%.

23. 4. 18. 30.

Odbitka z czasopisma Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika

KOSMOS XLI.

1916.

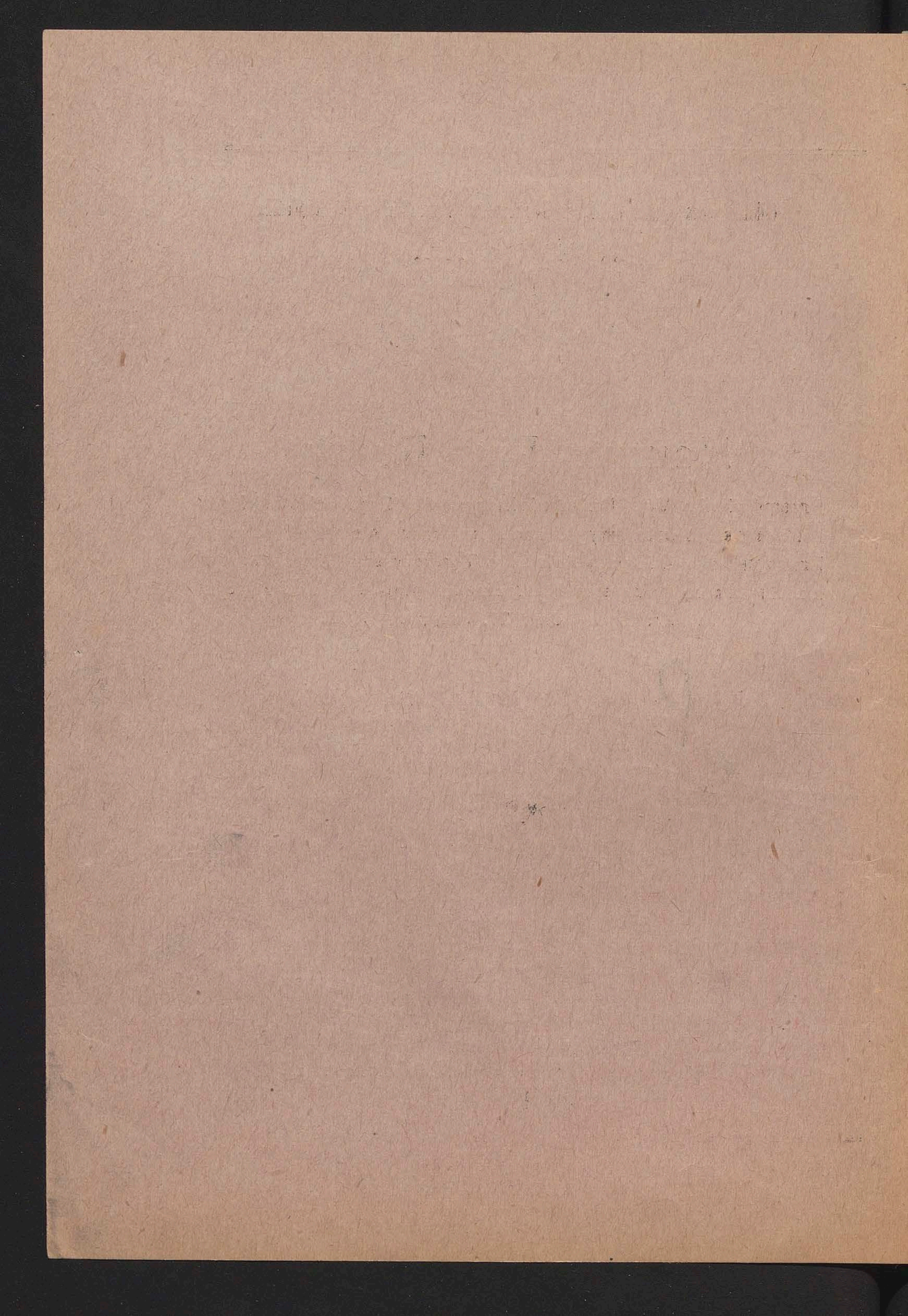
Maurycy Pius Rudzki

Przemówienia **Wł. Dziewulskiego, M. Smoluchowskiego i A. Rosenblatta** wygłoszone na uroczystem posiedzeniu Krakowskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika, odbytem ku uczczeniu pamięci M. Rudzkiego w Krakowie, dnia 21. listopada 1916.

LWÓW.

I. ZWIĄZKOWA DRUKARNIA WE LWOWIE, UL. LINDEGO L. 4.

1917.



83

Odbitka z czasopisma Kosmos zeszyt 1—12 z r. 1916.

Maurycy Pius Rudzki[1]).

A. Maurycy Rudzki jako astronom.

Mówiąc o działalności prof. Rudzkiego z dziedziny astronomii, nie zwrócę się do prac oryginalnych, a to dlatego, że wchodzą one tylko pośrednio w zakres astronomii. Taka praca n. p. jak „Wyznaczenie kształtu bryły ziemskiej na podstawie badań siły ciężkości“, w której Rudzki wprowadził swoją metodę redukcyjną, analogiczną do metody kondensacyi Helmerta i doszedł do zmodyfikowanej definicyi elipsoidy ziemskiej, jest pracą czysto geodezyjną, która może wejść w zakres zarówno geofizyki, jak i astronomii. Inna znowu praca: „O statyce atmosfery“, w której Rudzki rozpatruje ciało gazowe izolowane, obdarzone ruchem obrotowym, stałym i skończonym dookoła pewnej osi, jest pracą fizyczną, ale wchodzi jednocześnie w zakres astrofizyki.

Zwrócę się więc do dzieł czysto astronomicznych. Są to dwie książki: pierwsza w dwu tomach „Astronomia teoretyczna“, dzieło niepospolitej wartości i druga „Gwiazdy i budowa wszechświata“. Jeżeli podkreśliłem wartość pierwszej książki, to uczyniłem to nie tylko dlatego, iż jest ona w ubogiej naszej literaturze naukowej zjawiskiem niecodziennem; przecież, nie mówiąc o literaturze popularnej, mieliśmy tylko dwa podręczniki J. Kowalczyka: „O wyznaczeniu biegu ciał niebieskich“ i „O obliczaniu przeszkód biegu ciał niebieskich“; dzieło Rudzkiego jest trzeciem z rzędu w tej dziedzinie. Ale wartość tego dzieła polega przedewszystkiem na tem, że

[1]) Przemówienia wygłoszone na uroczystem posiedzeniu Krakowskiego Oddziału Pol. Tow. Przyr. im. Kopernika, odbytem ku uczczeniu pamięci M. Rudzkiego w Krakowie, dnia 21. listopada 1916.

mamy w niem krótko i treściwie, ale niezwykle jasno wyłożone zasady całokształtu zagadnień czysto astronomicznych. Układ tego dzieła jest następujący: mamy astronomię sferyczną, podstawę całej astronomii, poprzedzoną wykładem kilku rozdziałów pomocniczych. Tu chciałbym podkreślić niezwykle jasny wykład rachunku, zwanego teoryą najmniejszych kwadratów; rachunek ten, jak wiadomo, opiera się na zasadach rachunku prawdopodobieństwa, jasne przedstawienie tego związku jest zasługą wykładu. Dalej mamy w książce Rudzkiego wyłożony bieg planet i komet, a więc zagadnienie dwóch ciał. Jest to dział odpowiadający podręcznikowi Kowalczyka, który obszerniej opracował ten temat i kładł większy nacisk na stronę praktyczną i rachunkową. Rudzki opracował metody t. zw. mechaniczne Olbersa i Gaussa, dalej metody analityczne i jedną z nowszych metod Leuschnera, która jest modyfikacyą metody Laplace'a. Wreszcie podręcznik Rudzkiego obejmuje mechanikę niebios i metody wyznaczenia ogólnych i specyalnych perturbacyj. W tym dziale mamy nadto teoryę ruchu księżyca, opartą na najnowszych pracach Hill'a, Brown'a i Poincaré'go, dalej dynamiczną teoryę precesyi i nutacyi, wreszcie teoryę równowagi ciał ciekłych obracających się; zapoznajemy się tu z pracami Jacobi'ego, Roche'a, Clairaut'a i z najnowszemi pracami Poincaré'go co do stałości równowagi.

Drugie dzieło „Gwiazdy i budowa wszechświata" jest książką popularną, którą według treści możnaby podzielić na dwie części. Część pierwsza dotyczy dziejów astronomii w starożytności, a więc astronomii indyjskiej, egipskiej i babilońskiej. Część druga obejmuje wyobrażenia, dotyczące sklepienia niebieskiego w starożytności i w wiekach średnich, zmianę tych pojęć pod wpływem hipotezy Kopernika, dalej ruch gwiazd i słońca w przestrzeni, rozkład gwiazd w przestrzeni i t. d. Co się tyczy budowy wszechświata, to po omówieniu spekulacyi Lamberta i Kanta przechodzi Rudzki do rozwiązań Newcomba, Seeligera, Charliera i Arrheniusa. Rozpatrując krytycznie poglądy tych autorów, dotyczące sprawy nieskończoności wszechświata, staje do pewnego stopnia na stanowisku Arrheniusa, lecz poglądy te pogłębia i rozszerza. Myśli Rudzkiego streszczają się w tem, że w każdym prawdopo-

dobnym układzie gwiazd, nawet nieskończenie wielkim, przyciągania muszą w każdym punkcie mniejwięcej się równoważyć i wypadkowa ich musi być skończona. Niema więc zasadniczej sprzeczności między prawem przyciągania Newton'a, a założeniem, że wszechświat jest nieskończony. Z drugiej jednak strony nie można wysnuć żadnego wniosku na korzyść nieskończoności wszechświata.

Omawiając działalność prof. Rudzkiego w dziedzinie astronomii, powinienem wspomnieć jeszcze o działalności jego na terenie obserwatoryum astronomicznego. Jeżeli nie wiele o tej działalności powiedzieć można, to winą jest opłakany stan tego obserwatoryum. Pod względem nowoczesnych wymagań nauki jest ono przestarzałe i tylko gruntowna zmiana, polegająca na przeniesieniu obserwatoryum poza miasto i uposażeniu go w nowe przyrządy, mogłaby posunąć naprzód badania naukowe. Tak też zapatrywał się na tę sprawę Rudzki, skoro zaraz w pierwszym roku, gdy został dyrektorem obserwatoryum, wystąpił z żądaniami, dotyczącemi poprawy tego smutnego stanu rzeczy. Lecz i dalsze starania nie odniosły niestety żadnego skutku; obserwatoryum traktowano stale po macoszemu. Nie dziw więc, że i zakres prac był bardzo ograniczony. Jeżeli prace astronomiczne wymagają kosztowniejszych przyrządów i lepszych warunków, to natomiast badania geofizyczne lepiej dają się przystosować do warunków. Tu skierował więc Rudzki swą energię, zwłaszcza, że i skłonności i upodobania zwracały go więcej w tym kierunku. Obserwatoryum astronomiczne prowadziło od szeregu lat pomiary magnetyczne, regularnie zaś od r. 1870 pod kierunkiem prof. Karlińskiego i doprowadziło te pomiary do r. 1900, poczem nastąpiła przerwa, wywołana śmiercią dra Wierzbickiego w r. 1901 i chorobą Karlińskiego. Oceniając ważność tych pomiarów i ich ciągłości, gdyż na ziemiach polskich tylko Kraków prowadził przez dłuższy okres czasu tak systematyczne pomiary, wznowił Rudzki w roku 1904 pomiary magnetyczne i wykonywał je bądź to sam, bądź to wyręczał się pracownikami obserwatoryum. Drugiem zadaniem, jakie wykonał, były pomiary siły ciężkości. Pomiary te zapomocą wahadeł Sternecka wykonał Rudzki w r. 1903 i 1904 w Krakowie, a następnie w r. 1904 w Kijowie, dla porówna-

nia zaś przyrządów dr. Grabowski wyjechał do Wiednia i tam dokonał pomiarów. Najważniejszą jednak nowością, jaką wprowadził Rudzki w r. 1903 do obserwatoryum, były wahadła horyzontalne do notowania trzęsień ziemi. Są to wogóle badania najnowszej daty, a ilość tych stacyj w r. 1903 była jeszcze bardzo nieznaczna. Jest to wielką jego zasługą, że wprowadził także do Krakowa stacyę seismiczną, uposażając ją w możliwie dobre, jak na owe czasy, wahadła. W ciągu następnego dziesięciolecia seismologia rozwinęła się bardzo. Rudzki zamierzał iść równolegle z tym postępem i, gdy przekonał się, że typ wahadeł, znajdujących się w obserwatoryum, jest przestarzały, myślał o nabyciu wahadeł czulszych, aperyodycznych typu Golicyna, lecz brak środków nie pozwolił mu wprowadzić w życie tego zamiaru. O innych, drobniejszych przejawach działalności Rudzkiego na terenie obserwatoryum astronomicznego nie będę już wspominał.

Natomiast chciałbym krótko powiedzieć o spuściźnie naukowej Rudzkiego. Zwróciliśmy się — pracownicy obserwatoryum astronomicznego — do małżonki Zmarłego, p. Heleny Rudzkiej, z prośbą o ofiarowanie obserwatoryum astronomicznemu wszystkich papierów, dotyczących prac naukowych Zmarłego. Powstałe w ten sposób archiwum prof. Rudzkiego będzie cenną pamiątką dla obserwatoryum, z drugiej strony silniej zwiąże imię Jego z tym zakładem, którym kierował w ciągu lat kilkunastu. W spuściźnie tej mamy przedewszystkiem zeszyty, obejmujące niezwykle starannie opracowane wykłady uniwersyteckie. Z wykładów tych powstały, jak wiadomo, książki następujące: „Astronomia teoretyczna“, dalej „Fizyka ziemi“, o której wartości powiem tylko tyle, że przetłómaczona na język niemiecki wybiła się odrazu na naczelne stanowisko w literaturze niemieckiej, wreszcie „Meteorologia“, którą Rudzki wykończył na wiosnę r. 1916, a którą obecnie drukuje Kasa im. Mianowskiego w Warszawie. Należy wyrazić wielki żal, że inne wykłady nie doczekały się wydania książkowego.

Oprócz zeszytów, dotyczących wykładów, pozostawił Rudzki prace swe w rękopisach. Są więc rękopisy prac już drukowanych, ale jednocześnie znaleźć można i prace nieogłoszone, które znajdują się w różnym stanie wykończenia.

85

Są wśród ostatnich i prace dawniejsze, jak n. p. praca geograficzna: „O północnym brzegu morza Czarnego i Azowskiego“, zdaje się, że wykończona; dalej praca geologiczna: „O zamieraniu lodowców“, składająca się z 21 kartek, zdaje się, że niezupełna. Jest większa rozprawa: „O prądach“ z dopiskiem, że krótki referat o tej pracy ukazał się w czasopiśmie „Beiträge zur Geophysik“. Jest szereg kartek, jakby szkic do większej pracy, pod tytułem ogólnym „badania geodezyjne“. Odczyt: „O budowie atmosfery“, wygłoszony w r. 1914, nie był drukowany, jak również i dwa odczyty „O słońcu“ z r. 1905, które, jak wskazuje dopisek, wogóle nie były wygłoszone. Poza tem znaleźć można szereg kartek, zawierających jakby szkice do prac. Takim szkicem są n. p. trzy kartki, zatytułowane „O kometach“, w których Rudzki porusza zagadnienia Tisseranda o przejściu komety w pobliżu większego ciała (planety), wychodzi nawet z równań Tisserand'a; jaką jednak miał myśl, tego z tych kartek wywnioskować nie można. Te drobne szkice świadczą dowodnie, jak ciągle umysł Rudzkiego pracował, jak wiele zagadnień podejmował i zastanawiał się nad niemi, jak szerokie horyzonty obejmował swym umysłem.

Jeśli mowa o spuściźnie prof. Rudzkiego, to niech mi wolno będzie wspomnieć jeszcze o jednym zeszycie, który dzięki uprzejmości p. Rudzkiej miałem możność przeczytać. Jest to pamiętnik, pisany w r. 1900 i uzupełniony w czasie wojny, a obejmujący lata dziecięce i młodzieńcze aż do ukończenia gimnazyum. Pamiętnik ten daje doskonałą charakterystykę ówczesnego społeczeństwa polskiego na Wołyniu i Podolu, wraz z szeregiem sylwetek typów oryginalnych, w jakie obfituje zwłaszcza prowincya. Dalej z pamiętnika tego przebija wielkie umiłowanie przyrody wołyńsko-podolskiej i odczucie piękna tej przyrody. Kto wie, czy to nie ta przyroda Wołynia i Podola wychowała późniejszego badacza przyrody, wszak i praca doktorska dotyczyła geologii Podola. Rudzki wychowywał się w Czernelówce nad Słuczą i o wspomnieniach z tego okresu czasu mówi z wielkiem rozrzewnieniem; tak pięknych dni letnich, jak tam, nigdzie i nigdy nie przeżywał. Ogromne, piękne stawy, w jakie obfitowała okolica Czernelówki, były stałem miejscem wypraw młodego chłopca, czy to

w towarzystwie starszego brata, czy rybaka Szymona, zwłaszcza ulubione były wycieczki nocne przy świetle księżycowem, a opis tych wypraw — to jeden hymn uwielbienia rodzinnej przyrody. To też dziwić się nie można, że Rudzki zawsze tęsknił za Wołyniem i Podolem; chwilami tęsknota ta zmniejszała się, aby potem odezwać się z większą siłą. „Właściwie tęsknota ta osłabła bardzo wyraźnie dopiero od wiosny 1903, gdy zamieszkałem w obserwatoryum, w ogrodzie botanicznym; przerodziła się ona wtedy w ogólne, całej inteligencyi XIX. i XX. wieku właściwe zamiłowanie przyrody. Jednak tęsknota za Podolem wróciła znowu w czasie wielkiej wojny w r. 1914, prześladowała mnie zarówno w Zakopanem, jak i w Pradze. Dawniej była to tęsknota dziecka za domem rodzinnym, później tęsknota człowieka, urodzonego wśród pól i lasów, a zmuszonego żyć w mieście“.

Wielki miłośnik przyrody i wielki przyrodnik całe swe życie poświęcił badaniu przyrody, starał się ją rozumieć i uczył innych, jak mają do tego dążyć.

Zlgd

Wł. Dziewulski.

VIII. Maurycy Rudzki jako geofizyk.

Uniwersalny, wszechstronny umysł Rudzkiego obejmował szereg nauk specyalnych i w każdej z nich zdołał zająć miejsce przodujące; najwięcej jednak pociągała go zawsze geofizyka, ją uważał za właściwą swoją specyalność i przez swe badania w tej dziedzinie zdobył sobie sławę europejską.

Zdaje się, że powodem tego nie były przypadkowe okoliczności, jak bieg studyów i wpływ profesorów uniwersyteckich (z pomiędzy których Suess i Stefan w Wiedniu większe na nim wywarli wrażenie); istniała przyczyna głębsza. Geofizyka musiała najwięcej odpowiadać wrodzonym skłonnościom umysłu Rudzkiego. Wszak z jednej strony nauka ta zabarwiona jest całym czarem przyrody, nie tej skarłowaciałej przyrody, jaką obserwujemy w naszych laboratoryach, muzeach i ogródkach, ale tej, która daje nam odczuwać całą swoją wielkość i potęgę w najwspanialszych swych zjawiskach, w górach, na morzu, przy trzęsieniu ziemi,

Przemówienie, wygłoszone w dn. 21. listopada 1916 r., na posiedzeniu Krakowskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika, odbytem ku uczczeniu pamięci M. P. Rudzkiego. Kosmos, tom XLI, 1916, str. 105 – 119.

w burzy. Tem geofizyka musiała nęcić Rudzkiego, tak wielkiego, fanatycznego miłośnika przyrody; z drugiej zaś strony ta właśnie nauka odpowiadała też najwybitniejszej właściwości umysłu Rudzkiego, jego dążeniu do matematycznej ścisłości w rozumowaniu.

Ta wrodzona, matematyczna ścisłość umysłu, ta skłonność do skeptycyzmu względem wszelkich spekulacyj nie dających się udowodnić z absolutną pewnością, były powodem, że nie zadowolił się geografią i geologią, którym to naukom oddawał się początkowo: one skłoniły go do tego, że zapomocą ciężkiej pracy autodydaktycznej przyswoił sobie metody matematyki wyższej i fizyki teoretycznej i że oddał się z całym zapałem nauce, która stosuje ścisłe metody rozumowania matematycznego do rozwiązywania największych problemów przyrody ziemskiej.

Także na polu samej geofizyki Rudzki skłaniał się zawsze raczej do krytycznej analizy, do matematycznego kontrolowania i ostrożnego uzupełniania teoryj istniejących, niż do budowania fantastycznych i nie dających się udowodnić hypotez, do czego i na tem polu tyle jest sposobności. Pozwolę sobie zacytować kilka charakterystycznych słów z artykułu o geofizyce, który niebawem wyjdzie w druku w warszawskim Poradniku dla samouków [1]):

„...Ilość hypotez, które stawiano w celu objaśnienia epoki lodowej, jest ogromna. Nie sądzę jednak, aby literatura ta była warta studiowania. Możebnych przyczyn epoki lodowej jest wiele, ale nie mamy przynajmniej dotychczas dostatecznego kryterium, aby rozstrzygnąć, które z nich rzeczywiście ją spowodowały. Być może, że wśród licznych hypotez jest jakaś, która trafnie odgadła prawdę. Ale jak to sprawdzić? Gdy ktoś odgaduje przyszłość, to jeżeli nie my sami, to nasi następcy będą mogli sprawdzić przepowiednię; ale gdy ktoś odgaduje przeszłość, to sprawdzenie jest absolutnie niemożliwe".

Charakteryzuje to dobrze jego skeptycyzm i to nie tylko wobec powodzi teoryj związanych z epoką lodową, ale wogóle wobec niesprawdzalnych hypotez. On wierzył tylko w to, co daje się matematycznie, ściśle udowodnić i także własne swe wysiłki w tę tylko stronę kierował.

---

[1]) Poradnik dla Samouków, 2., Warszawa 1917; Geofizyka, str. 387—409.

Z powodu tej jego ścisłości matematycznej, oraz z powodu trudności rzeczowych, nie łatwo też jest niespecyalistom wniknąć w jego badania i ocenić należycie doniosłość i piękność tych prac, dzięki którym Rudzki się wysunął na stanowisko pierwszorzędnej europejskiej powagi w zakresie swej nauki. Sądzę więc, że postąpię najlepiej, jeżeli nie będę się dzisiaj zapuszczał w szczegółowe roztrząsanie prac Rudzkiego, w analizę ich metod i wyników, u zwłaszcza żeby i tak na to czasu nie starczyło — tylko spróbuję dać ogólnikowy pogląd na rodzaj zagadnień, któremi najchętniej się zajmował.

Wymienię przedewszystkiem fundamentalny problem geofizyki: rozmiary i kształt kuli ziemskiej. Na pozór rzecz wydaje się prostą: systematyczne pomiary tryangulacyjne, metody geodetyczne dają nam poznać kształt powierzchni ziemi, odległości i wysokości wszystkich punktów z dowolną dokładnością, i wydaje się, że nie ma tu wcale pola do jakiejś spekulacyi. A jednak, co to znaczy, jeżeli mówi się n. p., że szczyt Giewontu wznosi się na 1,900 m ponad poziom morza? Wszak morze nie sięga aż do stóp Giewontu. Albo zatem wyobrażamy sobie powierzchnię morza przedłużoną wśród lądów (n. p. w głęboko wciętym kanale) aż pod sam Giewont i określamy jej pionowy odstęp do wierzchołka góry, albo też wyobrażamy sobie, że od szczytu góry wyznaczamy powierzchnię poziomu, wciąż zgodnie z ustawieniem libelli, aż ponad morze i tutaj mierzymy odstęp.

Rzecz byłaby nadzwyczajnie prosta, gdyby powierzchnia morza była albo zupełnie płaska albo też ściśle kulista. Tymczasem jest to, dokładnie biorąc, powierzchnia o kształcie nadzwyczajnie zawiłym, wskutek nierównego rozkładu mas grawitacyjnych, naogół obniżona na oceanach, spiętrzona w sposób nieregularny ku brzegom kontynentów wskutek przyciągania tychże. A jak pomyśleć sobie jej przedłużenie wśród kontynentów, to wskazać mogą tylko obliczenia teoretyczne, przy których w rachubę brać trzeba gęstość skał i kształt wzniesień kontynentalnych.

Powierzchnię taką, składającą się z powierzchni morza, oraz z jej obliczonych przedłużeń wśród lądów, nazywamy geoidą. Słynny uczony niemiecki Helmert podał sposób obliczania tej powierzchni, t. zw. metodę kondensacyi; Rudzki

zaś wymyślił metodę inną [1]), pod pewnymi względami doskonalszą, opartą na założeniu, że powierzchnia geoidy pozostaje powierzchnią jednakowego potencyału grawitacyjnego, metodę która powinna jeszcze znaleźć wielkie zastosowanie w geodezyi wyższej.

Rozumiemy też, że kwestye te łączą się ściśle z problemem układu ciężkości na powierzchni ziemi, a zwłaszcza jej redukcyi do poziom morza i jej anomalij lokalnych, zagadnieniem, z którego wyrosła słynna teorya izostazyi Pratta, do której w dalszym ciągu jeszcze powrócimy. Rudzki sam, wspólnie z ówczesnym asystentem drem L. Grabowskim, wykonał w roku 1902 także precyzyjny pomiar siły ciężkości w Krakowie i znalazł liczbę $g = 981{\cdot}071$, prawie identyczną z liczbą dawniej znalezioną przez L. Birkenmajera.

Przejdźmy do innego działu, do ulubionych badań [2]) Rudzkiego, w zakresie których zasłynął jako właściwy specyalista: do seismologii. Jest to może istotnie najciekawsza część geofizyki, już z tego powodu, że trzęsienia ziemi są najwłaściwszym materyałem doświadczalnym do poznania budowy

[1]) Sur la détermination de la figure de la Terre d'après les mesures de la gravité. Bull. Astron. 22, str. 49—76 (1905).
Siła ciężkości w Krakowie, S. Francisco i Dehra Dun. Bull. Ac. Crac. 1907, str. 937—958 i 1081.

[2]) O rozchodzeniu się drgań podczas trzęsień ziemi. Rozpr. Ak. Krak. 33, str. 348—376, (1898).
O kształcie fali sprężystej w pokładach ziemskich. Rozpr. Ak. Krak. 33, str. 377—397, (1898).
O pewnem zjawisku podobnem do dyspersyi optycznej. Rozpr. Ak. Krak. 36, str. 115—126, (1898).
O kształcie fali sprężystej w pokładach ziemskich. Rozpr. Akad. Krak. 39, str. 143—157, (1900).
Parametrische Darstellung der elastischen Welle in anisotropen Medien. Bull. Ac. Crac. 1911, str. 503—536.
Sur la propagation de l'onde élastique superficielle. Bull. Ac. Crac. 1912, str. 47—58.
Essai de l'application du principe de Fermat aux milieux anisotropes. Bull. Ac. Crac. 1913, str. 241—253.
Ausgleichsfläche u. Erdbebentiefe. Die Naturwissenschaften. 1913, str. 406—407.
Über die Theorie d. Erdbebenwellen. Die Naturwissenschaften. 1915.
Über die Tiefe des Herdes des Erdbebens in Calabrien am 8. Sept. 1905. Bull. Ac. Crac. 1907, str. 40—44.

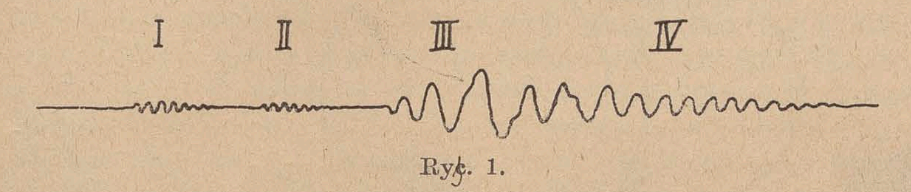
wnętrza ziemi. Chcąc poznać zawartość albo strukturę jakiegoś ciała przeźroczystego, prześwietlamy je, czyli przesyłamy przez nie fale świetlne i obserwujemy przebieg promieni świetlnych. Podobnie musimy zrozumieć, że sposób, jak fale elastyczne, fale trzęsienia ziemi przechodzą przez ciało ziemi, daje nam najwyraźniejsze wskazówki o wewnętrznym jej stanie. Doświadczeń takich oczywiście nie możemy robić umyślnie, dowolnie, tylko musimy czekać, aż nadarzy się sposobność obserwowania trzęsienia ziemi. Na szczęście dosyć ku temu jest okazyi, gdyż obliczono, że na rok przypada mniej więcej 30.000 takich trzęsień ziemi na całej kuli ziemskiej, przeważnie naturalnie lekkich drgnień, niedostrzegalnych dla laika, ale dających się zanotować przez nasze dzisiejsze przyrządy. Nie brak zatem materyału doświadczalnego, zwłaszcza, że istnieje obecnie przeszło 100 stacyi samozapisujących i chodzi tylko o umiejętne opracowanie, zanalizowanie i objaśnienie rezultatów tą drogą zdobytych.

Przypomnijmy sobie najprzód zasadnicze fakty z zakresu fizyki doświadczalnej, odnośnie do zjawisk sprężystości. Wiadomo, że gazy i ciecze posiadają wyłącznie sprężystość objętościową, nie wykazują zaś żadnej sztywności postaciowej, zgodnie z tem mogą się w nich rozchodzić tylko fale dylatacyjne, czyli podłużne, które jako fale głosowe są dostrzegalne dla naszego słuchu. Ciała stałe izotropowe natomiast posiadają dwa spółczynniki sprężystości, charakteryzujące sprężystość objętościową i także sprężystość postaci, wskutek tego przez ciała stałe przechodzić mogą dwa rodzaje fal sprężystych: takie same fale podłużne jak w płynach, oprócz nich także nieco powolniejsze fale poprzeczne, czyli torsyjne, w których cząstki drgają poprzecznie do kierunku rozchodzenia się fali.

Wreszcie wykazali Lord Raygleigh i Lamb, że wzdłuż powierzchni ciała stałego jeszcze trzeci rodzaj fal może się rozchodzić (i to z jeszcze mniejszą prędkością niż poprzednio wymienione fale), którego mechanizm przypomina poniekąd sposób, jak fale wodne postępują wzdłuż powierzchni wody, z tą jednak różnicą, że mechanizm ten polega na siłach sprężystości, nie zaś grawitacyi.

Otóż analiza seismogramów wykazała, że przy rozchodzeniu się trzęsienia ziemi z jakiegoś punktu na ogół właśnie te trzy rodzaje fal dają się zauważyć. Najszybciej postępują fale podłużne, z prędkością 7 *km*, a w głębiach ziemi 12 *km* na sekundę; za niemi, rozchodząc się z mniejszą prędkością, koło 4 *km* na powierzchni, a 7 *km* w głębi, idą fale poprzeczne; wreszcie przybywają fale Rayleigha, postępujące wzdłuż powierzchni ziemi, więc po stosunkowo dłuższej drodze, z prędkością 3—4 *km*.

Seismograf zakreśla zatem na przesuwającej się taśmie papieru diagram (ryc. 1.), w którym zazwyczaj dają się rozró-

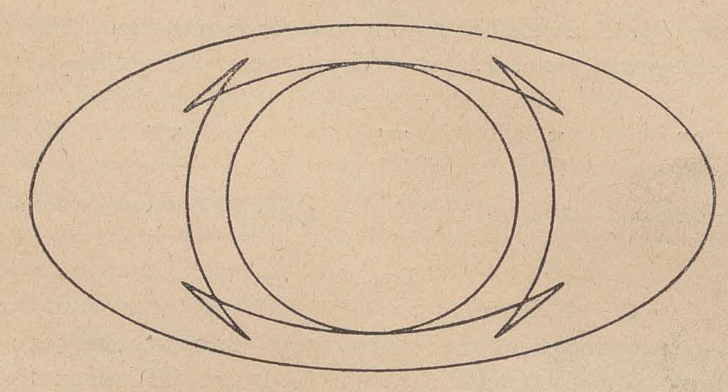


Ryc. 1.

żnić owe trzy rodzaje fal, jako trzy charakterystyczne fazy: t. zw. faza wstępna pierwsza (I) i druga (II), oraz faza główna (III). Ta ostatnia odznacza się największemi amplitudami. Po niej następuje jeszcze t. zw. ogon (IV), fale stopniowo zanikające o stosunkowo długim okresie, które porównać możnaby z owymi przeciągłymi odgłosami grzmienia, jakie następują po właściwym huku grzmotowym. Z odstępów czasu między temi różnemi fazami (zwłaszcza I—II) można nawet zapomocą pewnych reguł empirycznych ocenić dość dokładnie odległość, z której pochodzi trzęsienie ziemi, podobnie jak możemy obliczyć odległość piorunu z przeciągu czasu między zabłyśnięciem a dojściem głosu do ucha.

To jest teorya przyjęta przez dzisiejszą seismologię. Badania Rudzkiego na tem tle odnosiły się w szczególności do dwóch zagadnień. Zauważył on przedewszystkiem, że skały, z których się składa zewnętrzna skorupa ziemi, zazwyczaj nie są to ciała równokierunkowe, lecz jak łupki, gneisy, a także wiele granitów, posiadają strukturę różnokierunkową, anizotropową. Wskutek ciśnienia jednostronnego, któremu te materyały podlegały, przyjęły one inne właściwości sprężyste w kierunkach stycznych do pewnej płaszczyzny symetryi, a inne

w kierunku prostopadłym do niej. Otóż Rudzki dowodzi zapomocą subtelnej analizy matematycznej, że w takim ośrodku powstają na ogół nie tylko dwie różne fale, podłużna i poprzeczna, jak w ciałach izotropowych, ale trzy fale o charakterze mieszanym podłużno-poprzecznym. Ze źródła zaburzenia rozchodzą się zatem trzy wstrząśnienia, z prędkościami różnemi w różnych kierunkach przestrzeni, które dają się przedstawić graficznie zapomocą wykresu t. zw. powierzchni falowej (ryc. 2.),



Ryc. 2.

złożonej w tym wypadku z elipsoidy, powierzchni owalnej, oraz trzeciej powierzchni o kształcie bardzo zawiłym (powierzchni dwunastego stopnia).

Przypomina to nieco teoryę podwójnego załamania w optyce, ale stosunki są tu jeszcze o wiele zawilsze. Bardzo ciekawe są też dalsze rozważania Rudzkiego co do praw, według których na granicy takich ośrodków powinno się odbywać załamanie fal, jeżeli i w tym przypadku ważną pozostaje znana w optyce zasada Fermata (zasada optycznie najkrótszej drogi).

Badania Rudzkiego stanowiłyby zupełny przewrót, zupełną rewolucyę w poglądach na seismologię, gdyby istotnie całą kulę ziemską należało uważać za złożoną z takich materyałów różnokierunkowych. Rudzki sam jednak zauważa, że to odnosi się zapewne tylko do zewnętrznych warstw, aż do głębokości jakich 100—120 *km*, w których istnieją silne napięcia styczne, że natomiast wnętrze ziemi, tj. pozostałe 6.270 *km*,

zapewne uważać można za materyał przybliżenie równokierunkowy. Tak owe zjawiska prawdopodobnie większą rolę odgrywają tylko w zewnętrznych warstwach ziemi, tu zaś mogą tłumaczyć pewne osobliwości seismogramów, zwłaszcza odnośnie do fazy I. i II., (np. wielokrotne powtarzanie się wstrząśnień), w których bliższe omawianie na tem miejscu już wchodzić nie będziemy.

Dlaczego zaś przypuszczamy, że tylko owe zewnętrzne warstwy ziemi posiadają strukturę anizotropową? Przypuszczenie to opieramy na tem, że niewątpliwie w nich właśnie muszą występować największe nierówności ciśnień w różnych kierunkach, podczas gdy w głębszych warstwach ciśnienie prawdopodobnie rozchodzi się w ten sam sposób jak w cieczach, jako ciśnienie hydrostatyczne. Dowodem tego jest sam fakt, że źródło trzęsień ziemi, t. zw. hypocentrum, leży zazwyczaj w bardzo niewielkiej głębokości pod powierzchnią ziemi, co to jest również ważnym wynikiem badań Rudzkiego. Podał on wzór teoretyczny, na podstawie którego obliczyć można głębokość ogniska trzęsienia ziemi z czasów, w których fala trzęsienia osiąga różne punkty na powierzchni położone[1]).

Tak obliczył n. p. dla trzęsienia ziemi w Kalabryi (1905) $h = 7$ *km*; dla trzęsienia ziemi w S. Francisco (1906) $h = 16-32$ *km*.

Podobnie w wielu innych wypadkach otrzymywano zawsze głębokości mniejsze niż 120 *km*.

Rozumiemy to przyjmując, zgodnie z innymi faktami z dziedziny anomalij ciężkości, zgodnie z opinią Helmerta i Hayforda, że liczba 120 *km* cechuje głębokość, poniżej której już nie sięgają zakłócające równowagę wpływy zewnętrznych ciśnień, spowodowanych bądź to kurczeniem się ziemi

[1]) Zrozumiemy możliwość takiego obliczenia, zważając, że fale kuliste pochodzące z jakiegoś ogniska w głębi muszą wstrząsnąć prawie równocześnie całym obszarem leżącym powyżej ogniska na powierzchni ziemi; prędkość rozchodzenia się wzdłuż powierzchni jest zatem największa (nieskończenie wielka) dla epicentrum, t. j. punktu powierzchni położonego powyżej ogniska, a tak samo też dla punktu diametralnie przeciwległego; natomiast musi osiągnąć pewną wartość minimalną w jakimś punkcie pośrednim. Odległość owego punktu, gdzie prędkość rozchodzenia jest minimalna, od epicentrum widocznie musi zależeć od głębokości ogniska, a znajomość jej posłużyć może do wyznaczenia tejże.

ziemi, bądź to zjawiskami geologicznemi lub meteorologicznemi. Ten zaś fakt tłumaczy się łatwo, zważywszy, że głębsze warstwy, podlegające temperaturom wysokim i ciśnieniom niezmiernym, znacznie większy posiadać muszą stopień plastyczności niż zewnętrzne i że z tego też powodu nierówności ciśnień, jeżeli wogóle w nich powstaną, o wiele szybciej muszą się wyrównać.

Tym sposobem wyjaśniają się wyniki co do wewnętrznego stanu ziemi, otrzymane różnemi drogami wnioskowania. Z jednej strony seismologja zmusza nas do przyjęcia, że całe wnętrze kuli ziemskiej posiada właściwości ciała stałego sprężystego, inaczej fale poprzeczne byłyby wogóle niemożliwe. Dowodzą tego również pewne fakty z teorji przypływu i odpływu morza oraz obliczenia wahań osi obrotu w ciele ziemi (t. zw. wahania szerokości geograficznej), którym Rudzki także poświęcił jedno studjum[1]) nadzwyczaj głębokie, swego czasu nagrodzone przez Akademię krakowską.

Z drugiej jednak strony widzimy, że siły tektoniczne, powodujące trzęsienia ziemi, oraz procesy górotwórcze, ograniczają się do zewnętrznych warstw kilkudziesięciu, najwyżej 120 kilometrów grubości; skorupa ta spoczywa na głębszych warstwach o wyższym stopniu plastyczności, które zachowują się wobec nagłych, krótkotrwałych wstrząśnień, jak ciało stałe, siłom wiekowym natomiast, górotwórczym, poddają się podobnie jak masa ciekło-plastyczna.

Doprowadza nas to do teorji izostazji, pochodzącej od Airy'ego, Pratta, Duttona, ku której i Rudzki się skłaniał, zwłaszcza w późniejszych czasach, bardzo wyraźnie. Według tej teorji lądy i oceany tworzą na ogół, z grubsza, system równowagi hydrostatycznej; góry wzniosły się, gdyż składają się z materjałów lżejszych, pływających jak bryły lodu na wodzie, głębiny zaś wytworzyły się tam, gdzie skorupa składa się z materjału większej gęstości. Nie mogę wchodzić w omawianie pomiarów anomalij ciężkości, które stanowią najsilniejszy argument bezpośredni, przemawiający za tą

[1]) Teorja fizycznego stanu kuli ziemskiej. Rozpr. Akad. Krak. 37, str. 225—421 (1900).

teoryą, ale wspomnę o ciekawym bardzo przyczynku Rudzkiego [1]) do tej kwestyi.

Oparł się on na fakcie, że w Szwecyi i Norwegii znaleziono dowody, iż morze podczas epoki lodowej sięgało znacznie wyżej niż obecnie: w zewnętrznych częściach Skandynawii do 280 *m* ponad poziom dzisiejszy; albo może raczej, iż ląd wówczas o tyle leżał niżej niż dzisiaj. Jako powodu tego zjawiska można się domyślać ciężaru powłoki lodowej, która wówczas pokrywała olbrzymie obszary kontynentu europejskiego i amerykańskiego i musiała wywołać zgniecenie przytłoczenie odnośnych warstw skorupy ziemskiej. Otóż obliczenia Rudzkiego wykazały, że przypisując ziemi właściwości stałego ciała sprężystego trzebaby przyjąć dla wywołania takiej różnicy poziomu, jaką w Skandynawii zauważono, że powłoka lodowa w owych stronach posiadała grubość 7 kilometrów. Przyjmując natomiast, że zewnętrzne warstwy unoszą się na pokładzie plastycznym, że uginają się pod ciężarem lodu i wznoszą się znów po jego stopieniu tak, jak tego wymaga hydrostatyczna teorya izostazyi, Rudzki wyliczył, że do osiągnięcia owego skutku wystarczyłoby pokrycie płaszczem lodowym o grubości 933 metrów, co uznać trzeba, w przeciwieństwie do pierwszej ewentualności, za liczbę zupełnie możliwą i prawdopodobną, uprzytomniając sobie stosunki dzisiaj panujące w Grenlandyi.

Oczywiście nie możemy sobie wyobrażać tych głębszych pokładów ziemi jako masy płynnej jak woda, o czem już wspomniałem, lecz jako masę plastyczną, pomału się poddającą wpływom zewnętrznym i bardzo powoli znów po ich ustąpieniu powracającą do stanu poprzedniego. Zgodnie z tem tłumaczy się też fakt, że skutki zjawisk właśnie omawianych i dzisiaj jeszcze trwają. Według Pencka, od czasu maksymalnego zlodowacenia półkuli północnej minęło około 30—40.000

[1]) Odkształcanie się ziemi pod ciężarem wielkich lodowców. Rozpr. Ak. Krak. 37, str. 176—224 (1900).

Dalsze badania nad odkształcaniem ziemi pod ciężarem wielkich lodowców. Wpływ ciężaru wielkich lodowców. Rozpr. Ak. Krak. 39, str. 109—136 (1902).

Deformationen der Erde während der Eiszeit. Zeitschr. f. Gletscherkunde 1, str. 182—192 (1906).

lat. Lody owe już dawno stopniały, Skandynawja wynurzyła się po ich ustąpieniu do dziś dnia o 280 *m* w swych częściach środkowych, ale zjawisko to jeszcze nie ustało i ląd coraz więcej się wynurza w sposób dostrzegalny według różnych oznak wyraźnych. Jeszcze wyraźniej występuje to zjawisko w Ameryce północnej, gdzie północna Kanada, okolice zatoki Hudsona tak szybko się wznoszą, że według zdania niektórych geologów amerykańskich za parę set lat miasto Chicago, leżące na południowym brzegu jeziora Michigan, będzie trzeba chronić tamami od zalania, a za 2.000 lat jezioro to już nie będzie odpływało ku wschodowi i do St. Lawrence River, lecz na południe do Mississipi.

Weszliśmy na teren spekulacyj o przeszłości ziemi i o trwaniu epok geologicznych; a tem samem zbliżyliśmy się do słynnego zagadnienia t. zw. wieku ziemi, które niegdyś w tak śmiały i genjalny sposób Lord Kelvin opracował i któremu także Rudzki poświęcił pracę bardzo ciekawą [1]). Rudzki, podobnie jak Lord Kelvin, oparł swoje rachunki na założeniu, że ziemia stygnie wskutek ciągłej straty ciepła; ale zamiast pewnych hipotetycznych założeń Kelvina wprowadził empiryczną podstawę do swych obliczeń, a mianowicie skurczenie powierzchni ziemi spowodowane tem stygnięciem. Wyobrażając sobie wyprostowane warstwy epoki sylurskiej wraz z wszystkimi fałdami gór, wyrachował na podstawie danych geologicznych, że zajmowały wówczas powierzchnię większą o blisko 8 milionów km^2 (t. j. powierzchnia Europy), niż dzisiejsza powierzchnia ziemi. Aby się takie nastąpiło skurczenie, według jego rachunku musiał upłynąć czas, który oceniał — od syluru do dziś dnia — na 139 do 486 miljonów lat, zależnie od dobrania pewnych spółczynników niedokładnie znanych. Lord Kelvin, jak wiadomo, na tak zw. wiek ziemi otrzymał liczbę 40—100 milionów lat, i można to było uważać za pewnego rodzaju zgodność co do rzędu wielkości, umacniającą nasze zaufanie do tych spekulacyj.

Tymczasem dzisiaj straciły one wszelką podstawę, a to wskutek odkrycia substancyj promieniotwórczych, które już obaliło tyle tradycyą uświęconych teoryj, niemal dogmatów,

---

[1]) O wieku ziemi. Rozpr. Ak. Krak. 41, str. 96—133 (1901).

w zakresie fizyki i chemii. Substancye te wywiązują bezustannie ciepło, a ilość ich jest wprawdzie minimalna, rzędu 10^{-12} grama na centymetr kubiczny, ale mimo to ilość ciepła wytworzonego w całej kuli ziemskiej byłaby tak kolosalna pod założeniem, że całe wnętrze zawiera ten sam procent substancyi promieniotwórczej jak zewnętrzne warstwy, że przewyższałoby daleko wszelkie straty ciepła, których ziemia doznaje wskutek promieniowania na zewnątrz. Nie wiemy oczywiście, czy owe substancye znajdują się też w głębiach ziemi, ale w każdym razie rozumiemy, że jest dzisiaj rzeczą wątpliwą, czy ziemia wogóle stygnie, czy może przeciwnie się ogrzewa; tem samem wszelkie spekulacye oparte na owej hypotezie straciły racyę bytu.

Rudzki sam przyznaje to w pięknym artykule[1]), przed trzema laty napisanym, wskazując w zamian inne zupełnie metody oznaczenia wieku ziemi, jakie wyłoniły się właśnie z badań transformacyj promieniotwórczych. Wiedząc, z jaką szybkością z materyi promieniotwórczej się wywiązuje helium, oraz znając zawartość helu i substancyj promieniotwórczych w różnych minerałach, posiadamy klucz do ocenienia wieku tychże i tym sposobem Strutt oznaczył dla wieku różnych formacyj geologicznych liczby w następującej tabliczce zestawione. Inna metoda tego rodzaju, zastosowana przez Holmesa, opierająca się na szybkości transformacyi uranu w ołów i na stosunku tych dwóch pierwiastków w różnych minerałach, dała liczby tego samego rzędu wielkości.

Strutt (helium):		Holmes (ołów i uran):	
oligocen	8 mil. lat	węglowa f.	340 mil. lat
eocen	31 „ „	sylur	430 „ „
wapień węglowy	150 „ „	archaiczna f.	1.025—1.640
archaiczna f.	710 „ „		mil. lat.

Tak zatem mimo zasadniczej różnicy w metodzie wnioskowania dziwnym trafem znów dochodzimy do wniosku nie odbiegającego zbytnio co do rzędu wielkości od wyniku poprzednich spekulacyj, mianowicie, że t. zw. wiek ziemi może się liczyć na setki, a może na tysiące milionów lat.

1) L'Age de la Terre. „Scientia" 13, str. 161—173 (1913).

Wspomniałem dotychczas tylko o głównych tematach badań **Rudzkiego** z zakresu właściwej geofizyki, powiązanych w pewnego rodzaju logiczną całość ogólnem swem znaczeniem dla teorii fizycznego stanu kuli ziemskiej. Oprócz nich **Rudzki** dał nam jeszcze szereg ważnych przyczynków do różnych innych kwestyj, wchodzących w zakres właściwej mechaniki, hydrodynamiki i fizyki atmosfery.

W studium [1]) o ruchu wahadła poziomego uzupełnił odnośną matematyczną teorię, wykazując pewne zasadnicze wady tego przez geofizyków tak cenionego przyrządu. W innej pracy [2]), łączącej się z badaniami nad falami trzęsień ziemi, rozwinął teorię drgań prętów wyciętych z różnokierunkowego materyału (gneis, łupek i t. p.) a tem samem podał sposób określenia spółczynników sprężystości takich ciał.

W zakres hydrodynamiki wchodzą dwie ważne prace [3]), w których krytykował **Helmholtza** teorię fal wodnych i udowodnił, że postępowe fale niewirowe nie mogą istnieć bez równoczesnego prądu postępowego. Teoretycznie interesująca jest dalej praca [4]), w której bada mechanizm przewodzenia ciepła w płynącej masie cieczy (w rzece lub prądzie morskim). W innej rozprawie [5]) roztrząsa pewne problemy kosmogoniczne: analizuje układ atmosfery na wirującem ciele niebieskiem, oraz wyjaśnia kwestyę rozkładu temperatury wewnątrz takiej gazowej masy, żywo dyskutowaną przez uczonych amerykańskich (L. **See** i inni). Mniejszy, ale ciekawy przyczynek do fizyki atmosfery [6]) stanowi obliczenie spółczynnika promieniowania cieplnego dla powietrza.

---

[1]) Über die Bewegung des Horizontalpendels. Beitr. z. Geophysik **6**, str. 138—155 (1903).

[2]) Über d. Bestimmung dynamischer Elastizitätskonstanten. D. Erdbebenwarte **7**, (1908).

[3]) Przyczynek do teorii fal. Rozpr. Ak. Krak. **29**, str. 399—403 (1895). Przyczynek do teorii fal niewirowych. Rozpr. Ak. Krak. **30**, str. 393—403 (1896).

[4]) Über d. Wärmeleitung in einem Strome. Beitr. z. Geophysik **13**, str. 338—347 (1914).

[5]) O prawie rozkładu temperatury wewnątrz gazowego ciała niebieskiego. Prace mat. fiz. **13**, str. 341—351.

[6]) Von der Strahlung der Luft. Meteorol. Zeitschr. 1913, str. 458—459.

Nie wchodzimy już w analizę artykułów treści więcej popularnej z zakresu geofizyki i meteorologji lub licznych (i nieraz cennemi uwagami wzbogaconych) referatów, jakie ogłaszał np. w Naturwissenschaften, Erdbebenwarte i innych czasopismach.

Wspomnieć jednak wypada jeszcze o dwóch jego dziełach [1]), w których całokształt tej nauki przedstawił w sposób prawdziwie mistrzowski, o „Fizyce Ziemi", która wyszła w r. 1909 w języku polskim, a w r. 1911 w uzupełnionem wydaniu niemieckiem, oraz o podręczniku meteorologji, który ukończony przed wojną, obecnie po śmierci autora wychodzi drukiem w Warszawie. „Fizyka Ziemi" jest dziełem naukowem na wskróś oryginalnem, może jedynem w całej literaturze światowej, w którem znaleźć można wyłożoną systematycznie, gruntownie i zgodnie z obecnym stanem nauki całą fizykę lito- i hydrosfery; dla specjalistów zaś tem jest ciekawsze, że własne badania autora w odpowiedni sposób w niem zostały uwzględnione.

Podręcznik meteorologji zaś, jakkolwiek pisany przystępnie, bez ciężkiego aparatu matematycznego, pod pewnym względem również stoi na poziomie naukowym znacznie wyższym niż podobne dzieła zagraniczne, mianowicie tem, że meteorologia nie występuje w nim jako zbiór statystycznych reguł empirycznych, tylko przybiera postać, o ile to możliwe w dzisiejszym stanie wiedzy, nauki o fizyce atmosfery. A to jest oczywiście kierunek, w którym ta nauka dzisiaj się rozwija i w którym postępując, kiedyś stanie się gałęzią nauk ścisłych, równorzędną z innemi działami geofizyki.

Jeżeli na koniec jeszcze raz uprzytomnimy sobie całą działalność **Rudzkiego** na polu geofizyki, uznać musimy, że plon jego pracy był wielki, jak wielkie były problemy, które sobie stawiał. Przy bliższem studyowaniu jego dzieł potęguje się wrażenie głębokiej czci dla umysłu, którego właściwą, najgłębszą sprężyną było bezwzględne, fanatyczne zamiłowanie prawdy. Ono było powodem jego nieufności względem ryzykownych hypotez, jego przenikliwego krytycyzmu

[1]) Fizyka ziemi. Kraków 1909. S. XI+538. (Nakł. Ak. Krak.)
Physik der Erde. Leipzig 1911. S. VIII+584 (Tauchnitz).
Zasady meteorologji. Nakł. Kasy im. Mianowskiego. Warszawa.

względem siebie i innych, jego ścisłości w rozumowaniu, ono było źródłem jego pomysłów naukowych.

(dołąd)

~~M. Smoluchowski.~~

Maurycy Rudzki jako matematyk.

Najważniejszą, uderzającą odrazu cechą działalności naukowej profesora Rudzkiego była niepospolita wielostronność jego twórczej pracy. Wzbogacił cennymi pomysłami matematykę, fizykę, astronomię, geofizykę, geologię, geografię, będąc w tych wszystkich naukach par excellence teoretykiem o charakterze wybitnie matematycznym. Jako typ uczonego przypominał z tych powodów Poincaré'go. To też ocenę działalności matematycznej Rudzkiego można poprzedzić słowami, które o Poincaré'm wypowiedział astronom G. Darwin na kongresie matematyków w Cambridge (1912): „Odczuwam żywo, jak wybitnym był człowiekiem, gdy uprzytamniam sobie, że chociaż zaledwie jestem w stanie w zupełności ocenić połowę jego dzieła, to jednak wydaje mi się być gwiazdą pierwszej wielkości“.

Obdarzony niepospolitą bystrością umysłu i zmysłem krytycznym, nadzwyczajnym darem oryentowania się w kwestyach zawiłych i wielką pomysłowością poddawał Rudzki krytyce teorye budowane przez różnych uczonych, zastępując je nowemi wytwornemi teoryami. Niepospolita erudycya matematyczna i szczególna zdolność stosowania najtrudniejszych środków analizy matematycznej współczesnej do problemów, którymi się zajmował, pozwalały mu wynajdywać nowe metody badania zagadnień przyrody. Doprowadzało go to do czysto matematycznych, bardzo ciekawych i trudnych zagadnień, któremi się też specyalnie obok właściwych swych badań zajmował.

Ze szczególnem umiłowaniem poświęcał się Rudzki problemom fizyki ziemi. Zjawiska fizyczne odbywające się czy to we wnętrzu ziemi, czy też na jej powierzchni, na lądzie stałym i na oceanach, czy też w oceanie powietrznym i tak samo zjawiska, które tu się niegdyś rozgrywały, ujmował w szatę fizyki matematycznej, traktując problemy o pierwszorzędnem znaczeniu dla nauk matematycznych, problemy czysto analityczne i geometryczne, problemy mechaniki, teoryi

rozchodzenia się ciepła, teoryi sprężystości, hydrodynamiki, optyki. W problemach tych główną rolę odgrywa badanie pewnych równań różniczkowych cząstkowych. Nie chodzi tu przytem zwykle o najogólniejsze całki tych równań, tj. funkcye spełniające te równania dla najogólniejszych danych warunków, ale raczej o badanie pewnych specyalnych kategoryj funkcyj. Mianowicie z natury rzeczy ciała, któremi się te badania zajmują, mają kształt prosty: kuli, elipsoidy, a funkcye które tu występują są to specyalne kategorye funkcyj, związane z temi figurami: funkcye kuliste, funkcye elipsoidalne (Lamé'go). To też teorya i zastosowania tych kategoryj funkcyj stanowią treść znacznej części prac Rudzkiego.

1. Jak bogatą była wiedza matematyczna Rudzkiego, jak niezwykłymi i najbardziej nowożytnymi zawsze rozporządzał środkami analizy, tego najlepszym dowodem jest traktowanie problemu odkształcenia ziemi w epoce lodowej pod ciężarem wielkich lodowców. Wiadomo, że w epoce lodowej w północnej Europie poziom morza względnie do otaczających go kontynentów był wyższy, aniżeli dzisiaj i różnica dochodzi miejscami aż do 2.000 stóp. Jamieson postawił hipotezę deformacyi ziemi pod wpływem ciężaru wielkich lodowców. Rudzki rozwija matematyczną teoryę tego zjawiska w dwóch pracach [1]), ogłoszonych w Rozprawach Akademii Umiejętności krakowskiej.

Ziemia uważana jest jako kula doskonale sprężysta, izotropowa i jednorodna, na której powierzchni panują dane ciśnienia i której oba spółczynniki sprężystości mają mniejwięcej te same wartości, jak dla stali. Ciśnienia te można rozwinąć w szereg funkcyj kulistych powierzchniowych

$$(1) \quad p = \Sigma p_i,$$

i wówczas otrzymuje się zmianę Δr promienia ziemskiego również w kształcie szeregu funkcyj kulistych. Ale skutkiem powstania lodowców ubyło wody w oceanach i ich poziom opadł. Dalej zarówno skutkiem deformacyi ziemi pod wpływem lo-

---

[1]) „Odkształcenie się ziemi pod ciężarem wielkich lodowców". Rozprawy Krak. Akad. Wydział mat.-przyr. 37 (1899).

„Dalsze badania nad odkształceniem ziemi pod ciężarem wielkich lodowców. Wpływ ciężaru wielkich lodowców". Ibid. 38 (1900).

dowców jak i skutkiem samego przyciągania lodowców zmieniły się powierzchnie ekwipotencyalne, a więc i powierzchnia oceanu. Zmiany te można również wyrazić zapomocą funkcyj kulistych i wreszcie można zapomocą tych funkcyj wyrazić całkowite względne przesunięcie poziomu morza.

Ale rezultaty te otrzymane są w założeniu, że zmiany dna morskiego nie wpłynęły na zmianę absolutnego poziomu morza, gdyż skompensowały się. Ściśle jednak rzecz biorąc, zmiany dna morskiego nie są wcale dane a priori, lecz zależą od ciśnienia na dno, które zależy od kształtu ekwipotencyalnej powierzchni morskiej, a nawzajem od odkształcenia dna morskiego zależy samo ciśnienie na dno. Zadanie jest więc o wiele bardziej skomplikowane, aniżeli zadanie przybliżone z zaniedbaniem okoliczności powyższych.

Otóż ten trudny problem traktuje Rudzki w sposób bardzo wytworny trudną i delikatną metodą nieskończenie wielu równań liniowych o nieskończenie wielu niewiadomych.

Nieznane a priori ciśnienie p rozwija się na szereg funkcyj kulistych dwóch argumentów: szerokości i długości geograficznej, których spółczynniki są nieznane. Tych nieskończenie wiele spółczynników wyznacza się metodą Fourier'a, całkując po powierzchni kuli. Stąd otrzymuje się nieskończenie wiele równań liniowych, w których niewiadomemi są owe spółczynniki.

Autor traktuje równania te metodami, które niedawno przedtem wprowadzili Hill i Poincaré do nauki, zapomocą wyznaczników nieskończonych. Są to badania bardzo interesujące i sugestywne dla matematyka, chociaż Rudzki przyznaje, że do praktycznego obliczenia deformacyi ziemi metoda ta się nie nadaje.

Wspomniemy tu tylko, że w innej ciekawej pracy[1]), która jednak pod względem matematycznym nie przedstawia interesu, badał Rudzki deformacyę ziemi w hipotezie „izostazyi" tj. doskonałej płynności ziemi. Zarówno rezultaty poprzednich dwóch prac, jak i tej prowadzą do konkluzyi, że linie brze-

[1]) „Deformationen der Erde während der Eiszeit. Zeitschrift für Gletscherkunde 1 (1906).

gowe śladów morza w krajach północnych pochodzą z epoki polodowej, topnienia lodów i że ziemia raczej zachowuje się jako ciecz lepka, okazująca własność opóźnionej sprężystości.

2. W wielostronnej naukowej działalności Rudzkiego wybijają się na plan pierwszy badania poświęcone zagadnieniom seismologii. Badania te doprowadziły go do rozważania różnych, bardzo interesujących problemów analitycznych i geometrycznych.

W fizyce matematycznej, tam gdzie ma się do czynienia z drganiami czy eteru, czy ciał stałych, stosuje się zasadę Fermat'a, zasadę najkrótszego czasu. Tem tłómaczy się zajęcie się Rudzkiego problemami rachunku waryacyjnego, którego specyalnym problemem jest właśnie zasada Fermat'a.

Uważajmy [1]) ziemię jako kulę utworzoną z warstw spółśrodkowych izotropowych, jednorodnych, nieskończenie cienkich. Wówczas indeks refrakcyi n i prędkość $u = \frac{1}{n}$ rozchodzenia się drgań będą funkcyami oddalenia r danego punktu od środka kuli.

$$(2) \quad n = F(r)$$

Stosując prawidła rachunku waryacyjnego do całki

$$(3) \quad \int_A^B n\, ds,$$

gdzie A jest punktem, z którego drgania wychodzą, „centrum" trzęsienia ziemi, zaś B punktem dowolnym, otrzymuje się trzy równania różniczkowe:

$$(4) \quad \frac{d}{ds}\left(n\frac{dx}{ds}\right) - \frac{\partial n}{\partial x} = o, \quad \frac{d}{ds}\left(n\frac{dy}{ds}\right) - \frac{\partial n}{\partial y} = o, \quad \frac{d}{ds}\left(n\frac{dz}{ds}\right) - \frac{\partial n}{\partial z} = o,$$

gdzie x, y, z są spółrzędne Kartezyusza ogólnego punktu B.

„Promienie seismiczne" są to krzywe, wzdłuż których rozchodzą się drgania seismiczne i które spełniają równania różniczkowe (4). Jeżeli szybkość u rozchodzenia się drgań maleje z odległością od środka, krzywe te są wypukłe względem środka ziemi.

Rudzki bada tę interesującą rodzinę krzywych. Po

---

[1]) „O rozchodzeniu się drgań podczas trzęsień ziemi". Rozprawy Krak. Akad. Wydział mat. przyr. 33 (1898).

daje metody, za pomocą których, znając czas trzęsienia w poszczególnych punktach powierzchni ziemi, można wyznaczyć położenie epicentrum, t. j. punktu powierzchni ziemi położonego ponad centrum trzęsienia ziemi, głębokość samego ogniska i samą funkcyę n, indeks refrakcyi, jeżeli się go uważać będzie za nieznany lub niedość dokładnie znany.

3. W dalszych badaniach nad naturą drgań seismicznych [1]) wprowadza Rudzki ważną innowacyę, przyjmując, że ziemia z powodu ciśnień wewnątrz niej panujących zachowuje się nie jako ciało izotropowe, ale jako ciało podwójnie łamiące, posiadające t. zw. transwersalną izotropię. Indeks refrakcyi n jest teraz zarówno funkcyą spółrzędnych x, y, z, jak i kosinusów kierunkowych λ, μ, ν.

Promienie seismiczne otrzymuje się, stosując do całki (3), gdzie teraz n jest funkcyą sześciu argumentów

$$n\ (x, y, z; \lambda, \mu, \nu),$$

zasadę Fermat'a.

Tym często matematycznym problemem rachunku waryacyjnego dla zupełnie ogólnego ciała nieizotropowego zajmuje się Rudzki w osobnej rozprawie [2]). Zamiast równań (4) mamy teraz trzy równania różniczkowe:

$$\frac{d}{ds}\left[\lambda(n-h)+\frac{\partial n}{\partial \lambda}\right]-\frac{\partial n}{\partial x}=o,\ \frac{d}{ds}\left[\mu(n-h)+\frac{\partial n}{\partial \mu}\right]-\frac{\partial n}{\partial y}=o, \tag{5}$$

$$\frac{d}{ds}\left[\nu(n-h)+\frac{\partial n}{\partial \nu}\right]-\frac{\partial n}{\partial z}=o,$$

$$h=\lambda\frac{\partial n}{\partial \lambda}+\mu\frac{\partial n}{\partial \mu}+\nu\frac{\partial n}{\partial \nu}.$$

Jeżeli ośrodek jest wprawdzie nieizotropowy, ale jednorodny, natenczas promienie seismiczne są znowu prostoliniowe, ale fale elementarne nie są kuliste, więc prawa załamania są inne, aniżeli w ciałach niejednorodnych ale izotropowych. Nie

[1]) „O kształcie fali sprężystej w pokładach ziemskich". Rozprawy Krak. Akad. Wydział mat.-przyr. 33 (1898) — 34 (1898). — 39 (1900). Prace te wyszły w niemieckiem tłómaczeniu w Biuletynie Krakowskiej Akademii i w „Beiträge zur Geophysik".

[2]) Essai d'application du principe de Fermat aux milieux anisotropes". Biuletyn Krak. Akad. Wydział mat.-przyr. 1913.

normalne do powierzchni fal, ale promienie spełniają prawa (Snellius'a) załamania.

4. Wróćmy do ciał transwersalnie izotropowych. Ciała te posiadają 5 spółczynników sprężystości i zachowują się tak, że wszystkie kierunki prostopadłe do pewnej osi (przechodzącej dla ziemi przez środek ziemi) są równoważne.

Rudzki bada powierzchnię falistą w ośrodku transwersalnie izotropowym, t. j. powierzchnię obwiednią wszystkich płaskich fal elementarnych w jednej i tej samej chwili. Z natury rzeczy jest to powierzchnia obrotowa i wystarczy zbadać jej przekrój płaski.

Zbadaniu krzywej algebraicznej przekrojowej poświęca Rudzki dużo pracy, stosując metody i pojęcia nowożytnej teoryi krzywych algebraicznych. Najdoskonalsze przedstawienie własności tej krzywej podał w r. 1911 [1]), wróciwszy raz jeszcze do przedmiotu, którym się przez lata zajmował i wyświetlając ostatecznie naturę krzywej, którą seismologowie szczególnie włoscy bardzo żywo, ale z małą znajomością geometryi się zajmowali.

Potencyał elastyczności ciała transwersalnie izotropowego W można napisać w postaci następującej:

$$(6) \quad W = \tfrac{1}{2}\,[c_{11}\,(e_{xx} + e_{yy})^2 + c_{33}\,e^2_{zz} + 2\,c_{13}\,e_{zz}\,(e_{xx} + e_{yy}) - \\ - 4\,c_{66}\,e_{xx}\,e_{yy} + c_{44}\,(e^2_{yz} + e^2_{xz}) + c_{66}\,e^2_{xy}],$$

gdzie e_{xx}, etc. są to składowe deformacyi

$$e_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad e_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad e_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z}, \quad e_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \quad e_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y},$$

$$e_{zx} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x},$$

zaś $c_{11}, c_{33}, c_{44}, c_{66}, c_{13}$ są spółczynniki sprężystości. Krzywą przekrojową można przedstawić w spółrzędnych stycznościowych ξ, η, ζ. Okazuje się, że krzywa ta rozpada się na 2 krzywe, mianowicie na elipsę i na krzywą 4-tej klasy, której równanie w podanem znakowaniu brzmi:

$$(7) \quad (c_{11}\,\xi^2 + c_{44}\,\zeta^2 - 1)\,(c_{44}\,\xi^2 + c_{33}\,\zeta^2 - 1) - (c_{13} + c_{44})^2\xi^2\zeta^2 = o.$$

Otóż krzywa ta jest krzywą 12-go stopnia, o 28 punktach podwójnych i o 24 ostrzach, z których trzecia część, t. j. 8

[1]) „Parametrische Darstellung der elastischen Welle in anisotropen Medien". Biuletyn Krak. Akad. Wydział mat.-przyr. 1911.

jest rzeczywistych. Nie posiada ona ani stycznych podwójnych, ani stycznych przegięcia.

Rudzki bada zarówno teoretycznie jak i rachunkowo kształt tej nader interesującej krzywej, która jest odwrotną (reciprok) krzywej 4-go stopnia bez punktów osobliwych. Okazuje się, że ta krzywa symetryczna względem obu osi x, z spółrzędnych składa się z dwóch oddzielnych części, jednej, która jest owalem bez punktów osobliwych i z drugiej części (gałęzi), również zamkniętej (parzystej), na której leżą wszystkie osobliwe punkty krzywej. Tak więc powierzchnia fal badanego ośrodka składa się z trzech zamkniętych części, bo jeszcze mamy elipsoidę obrotową. Promień przez środek powierzchni przeprowadzony przecina powierzchnię w conajmniej 3-ch punktach. Tem można tłómaczyć, że w danym punkcie powierzchni ziemi jedno drganie wychodzące z ogniska trzęsienia ziemi daje się odczuć kilku wstrząśnieniami. Wstrząśnienia te nie są ani wyłącznie torsyonalne, ani też wyłącznie dylatacyjne.

Rudzki przedstawia tę powierzchnię wybornie w postaci parametrycznej. Następnie bada też powierzchnię fal dla ośrodka o 3-ch płaszczyznach symetryi, a więc posiadającego 9 spółczynników sprężystości. I te badania są bardzo ciekawe dla geometry i są dowodem wielkiej zręczności matematycznej autora.

Liczne inne badania Rudzkiego w teoryi trzęsień ziemi, nad falami powierzchniowemi Rayleigh'a, dyspersyą sprężystą itd. przedstawiają mniejszy interes dla matematyka, chociaż również poruszają kwestye ciekawe matematyczne, kwestye teoryi równań różniczkowych cząstkowych.

5. Pierwszorzędnego całkiem znaczenia w nauce, a niepospolicie interesujące dla matematyka są badania Rudzkiego w geodezyi [1]). Chodzi tu o podstawowy problem geodezyi, o wyznaczenie kształtu ziemi z pomiarów siły ciężkości na powierzchni ziemi. Przytem jako powierzchnię idealną, nieznaną a priori ziemi uważa się t. zw. geoidę, t. j. powierzchnię

---

[1]) „Sur la détermination de la figure de la terre d'après les mesures de la gravité. Bulletin Astron. (1905).

96

ekwipotencyalną oceanów przedłużoną popod lądami od morza do morza.

Gdyby nie było mas ziemskich położonych na lądach zewnątrz geoidy, możnaby dla wyznaczenia kształtu geoidy bezpośrednio stosować twierdzenie Stokes'a, które orzeka, że siła ciężkości w całej przestrzeni nie zależy od rozkładu mas wewnątrz ciała, ograniczonego powierzchnią ekwipotencyalną. Aby to twierdzenie módz stosować, należy skompensować masy zewnętrzne, zastępując przez masy wewnętrzne równoważne lub przez powłokę powierzchniową o pewnej gęstości. Helmert kondenzuje masy, nie zmieniając sumy mas, ale przez to zmienia się powierzchnia ekwipotencyalna oceanów. Rudzki podaje nader interesującą i ważną metodę, przy której nie zmienia się powierzchnia ekwipotencyalna oceanu, a masy zastępuje się powłoką powierzchiową na powierzchni geoidy rozmieszczoną.

Jest to specyalny przypadek podstawowego problemu teoryi potencyału i zagadnień z teoryi równań całkowych. Rudzki przyjmuje jako przybliżoną postać geoidy elipsoidę obrotową o znanych wymiarach i stosuje funkcye elipsoidalne Lamé'go. Potencyały mas pierwotnych i zredukowanych i siła ciężkości zredukowana do poziomu geoidy wyrażają się przez szeregi funkcyj Lamé'go, t. j. iloczynów 3-ch funkcyj Lamé'go tego samego stopnia. To stosowanie ważnej kategoryi funkcyj do problemu podstawowego geodezyi jest bez wątpienia jednem z najciekawszych i najważniejszych stosowań funkcyj Lamé'go.

Zredukowawszy siłę ciężkości do poziomu elipsoidy, przyjętej jako pierwsze przybliżenie, podaje następnie Rudzki metody wyznaczenia dokładniejszego wymiarów t. zw. elipsoidy ziemskiej, a następnie i wyznaczenia zboczeń geoidy od elipsoidy ziemskiej, również stosując świetnie funkcye Lamé'go.

Mniej interesującą dla matematyka, ale bardzo ważną i piękną jest redukcya mas w założeniu przybliżonem, że ziemia jest kulą. Stosuje się tu teoryę inwersyi. Rudzki stosuje [1])

---

[1]) „La gravité à Cracovie, à S. Francisco et à Dehra-Dun réduite à l'aide d'une nouvelle méthode". Biuletyn Krak. Akad. 1907.

metodę tę praktycznie, obliczając zredukowane siły ciężkości dla Krakowa, S. Francisco i Dehra-Dun w Indyach.

Metody Rudzkiego są wytworniejsze od metod Helmerta, a sposób przedstawienia, zresztą zawsze u Rudzkiego jasny i umiejętny, bez porównania lepszy.

7. W całym szeregu prac zajmował się Rudzki problemami bardzo ważnymi dla fizyki matematycznej, a mianowicie dla równań różniczkowych cząstkowych hydrodynamiki i to hydrodynamiki cieczy doskonałych, cieczy lepkich i gazów. Interesującą [1]) dla matematyka jest przedewszystkiem praca poświęcona ruchowi falistemu, niewirowemu, stacyonarnemu cieczy nieściśliwej, ale podlegającej przyciąganiu ziemi.

Ruch odbywa się identycznie w płaszczyznach x, y, równoległych do siebie i do kierunku ruchu cieczy i prostopadłych. Niechaj oś y-*ów* będzie skierowana do góry, oś x-*ów* poziomo. Niechaj φ oznacza potencyał prędkości, ψ funkcyę prądu (Stromfunktion), ϱ gęstość. Jeżeli na powierzchni $\psi = \psi_1$ cieczy panuje stałe ciśnienie, a dno jest a priori dane, natenczas chodzi o całkę ψ równania Laplace'a

$$(8) \quad \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} = o,$$

która spełnia na powierzchi $\psi = \psi_1$ warunek nieliniowy

$$(9) \quad \frac{\varrho}{2}\left[\left(\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\psi}{\partial y}\right)^2\right] = C - \varrho g y,$$

przyczem g jest stałą przyciągania, a C stałą dowolną. Dalej równania

$$(10) \quad F(x,y) = o, \quad \psi(x,y) = o,$$

z których pierwsze określa kształt dna, są równocześnie spełnione.

Trudne to zadanie nie zostało dotąd rozwiązane ogólnie. Pierwszą dokładną całkę, a więc pewien ruch falisty możliwy, podał Kirchhoff, ale w założeniu, że powierzchnia cieczy jest pozioma, $y = o$. Ogólny przypadek traktuje Rudzki, podając metodę, pozwalającą znajdywać dokładne pewne całki, a więc pewne możliwe ruchy faliste.

---

[1]) Über eine Klasse hydrodynamischer Probleme mit besonderen Grenzbedingungen". Math.-Annalen. 50 (1898).

97

Jak już wspomnieliśmy, także inne prace hydrodynamiczne Rudzkiego — i tak badanie równań hydrodynamicznych w przypadku cieczy ściśliwej lepkiej, a mianowicie w przypadku ruchu oceanu powietrznego, obracającego się razem z ziemią [1]) i inne prace — może matematyk tylko z wielką korzyścią czytać.

7. Teorya przewodnictwa ciepła stworzona przez Fourier'a jest dla matematyki bogatą kopalnią problemów analitycznych. Zajmując się badaniami nad wiekowem stygnięciem ziemi, zajął się też Rudzki tymi problemami analizy [2]). Metoda, którą podał dla oznaczenia czasu, jaki upłynął od początku epoki górotwórczej sylurskiej, ze znajomości skurczenia promienia ziemi i druga metoda, wychodząca ze znajomości zmniejszenia się powierzchni ziemi skutkiem utworzenia się fałdów, płaszczowin, polegają na stosowaniu teoryi oziębiania się kuli.

W teoryi tej podstawową rolę odgrywają funkcye Bessela, Rudzki bada [3]) miejsca zerowe tych funkcyj metodą interesującą, różną od metody Hurwitza.

Zajmując się przewodnictwem ciepła w gazach, dochodzi do interesującego prawa statyki atmosfery [4]): Atmosfera ciała obracająca się razem z tem ciałem, może być tylko wtedy w równowadze hydrostatycznej, jeżeli ciepło rozchodzi się tylko drogą przewodzenia, gdy ciało wraz z atmosferą jest „centrobaryczne", tj. potencyał grawitacyjny jest wyłącznie funkcyą oddalenia od środka i gdy niema obrotu dokoła osi.

Z licznych innych prac Rudzkiego, z dziedziny mechaniki, do której należą krytyczne polemiczne prace o pracach Denizota z teoryi ruchu względnego, wspomniemy jeszcze o pracy [5]), w której tłómaczy transgresye tj. zalewy

---

[1]) „O granicach atmosfery". Prace mat.-fiz. 4, (1893).

[2]) Über eine Methode die Dauer der geologischen Zeit zu schätzen" Petermanns geogr. Mitteil. 41, (1895).

„O wieku ziemi". Rozprawy Krak. Akad. Wydział mat. przyr. T. 41, (1901).

[3]) „O pewnej klasie równań przestępnych". Prace mat.-fiz. T. 3, (1892).

[4]) Note sur un théorême de la statique de l'atmosfère". Bulletin Astron. 21, (1904).

[5]) „O rytmicznych oscylacyach morza". Prace mat.-fiz. 2, (1890).

lądów przez morze w różnych epokach geologicznych perturbacyami obrotu ziemi dokoła osi, któremi zajmował się Maxwell. Są one spowodowane przez zapadnięcia lub wzniesienia się lądów, które powodują zmianę środka i osi bezwładności ziemi. Zbytecznie mówić o interesie, jaki tego rodzaju badania przedstawiają dla matematyka.

8. Obraz działalności matematycznej Rudzkiego byłby bardzo niezupełny, gdybyśmy nie powiedzieli słów parę o tych rozdziałach dzieł Rudzkiego, w których traktuje teorye czysto matematyczne. Jak się Rudzki zapatrywał na znaczenie matematyki dla geofizyki, tego dowodem są słowa wstępu do „Fizyki ziemi“: „Matematyki książka moja zawiera raczej za mało, niż za dużo“. Oba dzieła, Fizyka ziemi i Astronomia teoretyczna, posiadają wszystkie zalety pisowni Rudzkiego, jasności obok zwięzłości, zdolności zainteresowania czytelnika od początku do końca, a treść ich jest niepospolicie bogata. Rozdziały Fizyki ziemi o geodezyi, o teoryach fizyki matematycznej, sprężystości, hydrodynamiki nadają się z tych powodów szczególnie do przyswojenia sobie zasad tych nauk. Tosamo tyczy się rozdziałów Astronomii poświęconych teoryom matematycznym, jakie się zwykle podaje na wstępie dzieł astronomicznych.

Brak miejsca nie pozwolił Rudzkiemu w Astronomii poświęcić tyle miejsca problemowi trzech ciał, ile pragnął i ile się zwykło poświęcać w dziełach mechaniki niebieskiej. Ale kilka ostatnich rozdziałów dzieła poświęconych jest matematycznym teoryom ruchu księżyca i teoryi figur równowagi ciał ciekłych obracających się. Nowożytne teorye księżyca Hill'a i Poincaré'go posługują się równaniami liniowemi w liczbie nieskończenie wielkiej, o nieskończenie wielu niewiadomych. Wykład tej teoryi matematycznej i stosowanie jej w całkowaniu równań określających ruch perigeum i ruch węzła księżyca posiada pierwszorzędny interes dla matematyka. Sławna teorya figur równowagi ciał ciekłych obracających się, która pociągała zawsze największych matematyków, przedstawiona jest zajmująco, zachęcająco dla tych, którzyby chcieli zająć się u nas tym problemem.

9. Rudzki zawsze żywo interesował się najnowszemi zdobyczami matematyki, rzecz więc naturalna, że teorya ró-

38

wnań całkowych liniowych, która się okazała potężnym środkiem badawczym dla problemów fizyki matematycznej, zajęła go odrazu. Zamierzał stosować teoryę tę w problemie przewodnictwa ciepła w związku z badaniami, które go stale zajmowały, ale niestety nie było mu danem ogłosić rezultaty badań. W zmarłym traci matematyka polska uczonego, który właśnie dzięki swej wielostronności wzbogacał matematykę problemami wziętymi z zagadnień przyrody. Oby jego sugestywne prace zachęciły matematyków do zgłębienia tych trudnych, ale pięknych problemów analizy.

A. Rosenblatt.

ZUSAMMENFASSUNG.

In drei Referaten wird die wissenschaftliche Tätigkeit des am 22. Juli 1916 gestorbenen Professors der Astronomie und Geophysik an der Krakauer Universität, Maurycy P. Rudzki, besprochen. Sein Hauptverdienst auf dem Gebiete der Astronomie besteht in der Bearbeitung und Herausgabe seiner Universitätsvorlesungen, die in zwei Bänden unter dem Titel „Theoretische Astronomie“ im 1914 in polnischer Sprache erschienen sind. In diesem Werke wurden die sphärische Astronomie, die Bahnbestimmung und die Mechanik des Himmels behandelt. Das zweite Werk von Rudzki aus dem Gebiete der Astronomie „Die Gestirne und der Bau des Weltalls“ ist mehr populär und dennoch wurden in demselben die neuesten Untersuchungen berücksichtigt. In den Universitätsvorlesungen Rudzkis haben noch zwei andere Lehrbücher ihren Ursprung: „Physik der Erde“ und „Meteorologie“. Das erste ist in polnischer und deutscher Sprache erschienen, das zweite kommt erst jetzt nach dem Hinscheiden des Verfassers zur Ausgabe.

Rudzki glänzende Forschertätigkeit auf dem Gebiete der Geophysik wird ausführlicher besprochen: seine Methode der Berechnung der Geoidfläche, welche in mancher Hinsicht vor der Helmert'schen Methode den Vorzug verdient, seine Arbeiten auf dem Gebiete der Seismologie, insbesondere bezüglich des Einflusses der elastischen Anisotropie des Gesteinsmaterials sowie bezüglich der Tiefe der Erdbebenherde, seine Theorie der

Polhöheschwankungen, seine Berechnung der durch die urzeitliche Vergletscherung Skandinaviens bewirkten Niveau Anderungen, die ein gewichtiges Argument zu Gunsten der Hypothese der Isostasie bildet und endlich seine Berechnung des Alters der Erde. Überdies wird eine ganze Reihe seiner kleineren Arbeiten aus verschiedenen Teilen der Geophysik und Physik kurz erwähnt.

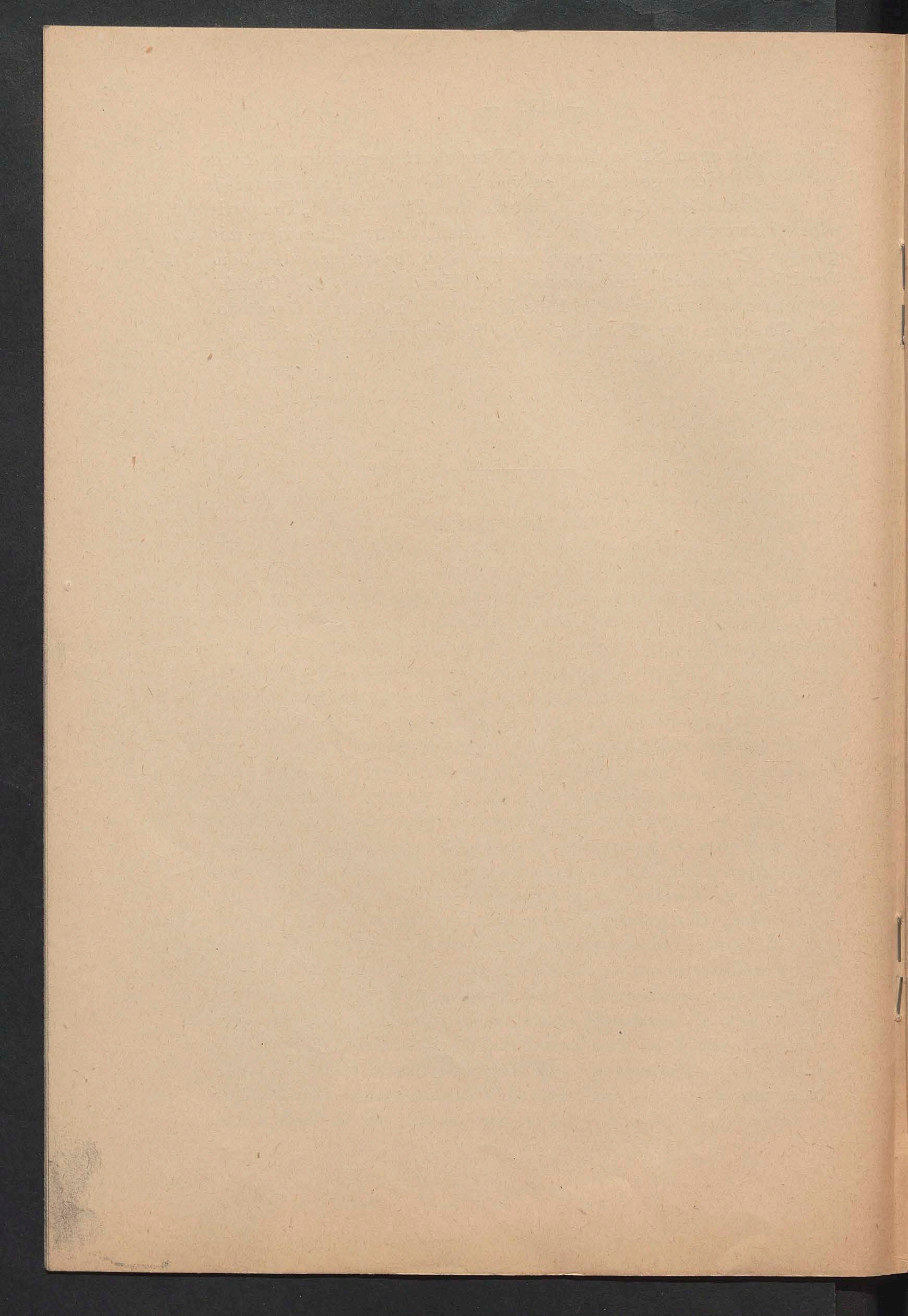
Das dritte Referat befasst sich mit den mathematischen Problemen, welche Rudzki in seinen Werken und Abhandlungen behandelte. Die meisten derselben betreffen Randprobleme in der Theorie der partiellen Differentialgleichungen der mathematischen Physik bei besonderen gegebenen Randbedingungen. Aber auch die Variationsrechnung, die Theorie algebraischer Kurven und Flächen, sowie die Theorie gewisser wichtiger Funktionenklassen, wie der Bessel'schen und der Laméschen Funktionen verdanken ihm wertvolle Beiträge.

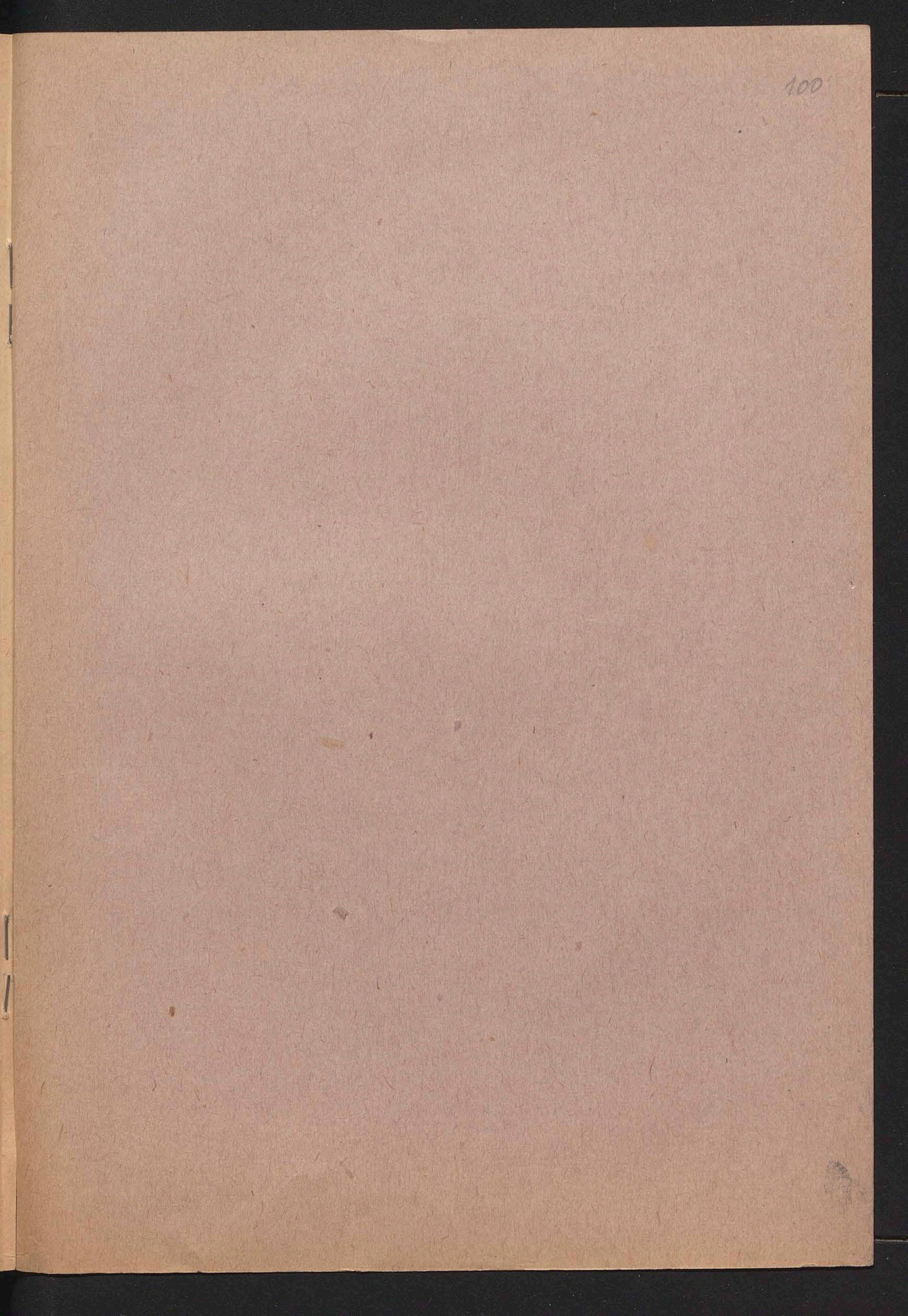
In seinen interessanten Untersuchungen über die Deformation der Erde unter der Last des Inlandeises während der Eiszeiten behandelte er mit Hilfe der neuen Methode unendlich vieler Gleichungen mit unendlich vielen Variabeln das Problem der Deformation einer Kugel, wobei der Druck an der Oberfläche nicht gegeben, sondern eine Funktion der Deformation selbst ist. Probleme der Potentialtheorie behandelte er in seinen Untersuchungen über die Bestimmung der Gestalt der Erde aus den Schweremessungen, wobei er Lamé'sche ellipsoidische Funktionen in der interessantesten Weise verwendete. Probleme der Seismologie veranlassten ihn das Fermatsche Prinzip in anisotropen Medien zu untersuchen, also ein Problem der Variationsrechnung zu behandeln, andererseits untersuchte er die Eigenschaften der Wellenfläche in anisotropen, und speziell in „transversal" isotropen Medien. Er befasste sich weiter mit dem mathematisch interessanten Problem der Wellenbewegung einer irrotationalen incompressibeln Flüssigkeit mit Berücksichtigung der Schwerkraft und entdeckte spezielle Lösungen des allgemeinen Problems. Weiter schrieb er über die Nullstellen der Bessel'schen Funktionen, über lineare Differentialgleichungen, über gewisse Probleme der Hydrodynamik compressibler Flüssigkeiten, die in der Meteorologie auftreten. In seinen Untersuchungen über das Alter der

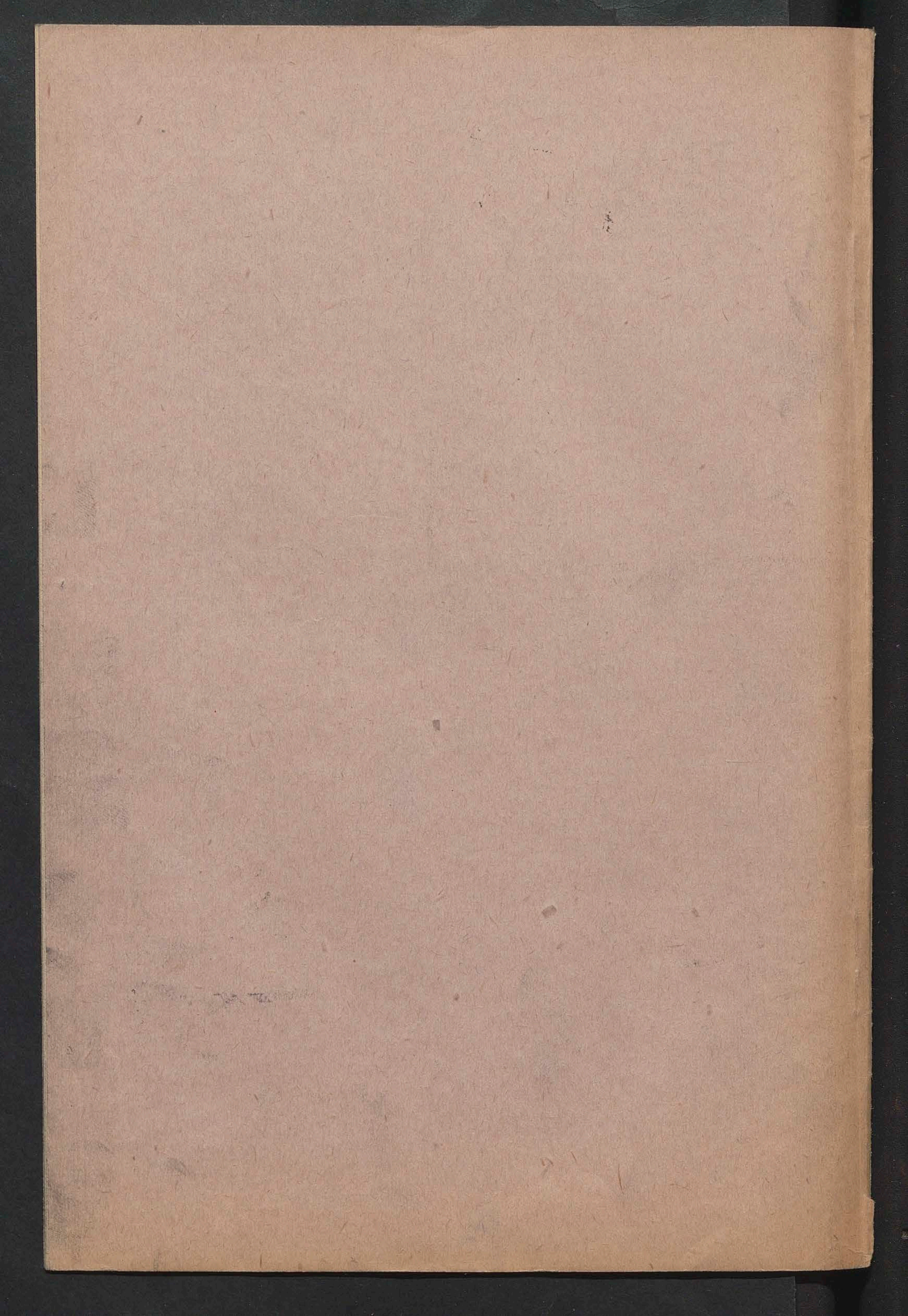
33

Erde findet man Sätze über die Wärmeleitungsgleichung. Auch andere Abhandlungen enthalten viel mathematisch Interessantes.

Iu den Lehrbüchern: „Physik der Erde“ und „Theoretische Astronomie“. werden die mathematischen Theorien mit grosser Eleganz vorgetragen, wobei sich besonders die dem Dreikörperproblem, insbesondere der Mondtheorie, der Gleichgewichtsgestalt rotierender Flüssigkeiten, der höheren Geodäsie, den Theorien der Elastizität und Hydrodynamik gewidmeten Kapitel auszeichnen.







MUZEUM

CZASOPISMO POŚWIĘCONE SPRAWOM WYCHOWANIA I SZKOLNICTWA, WYDAWANE WE LWOWIE PRZEZ
TOW. NAUCZYCIELI SZKÓŁ WYŻSZYCH

ROK 1917 □ □ □ CZERWIEC
ROCZNIK XXXII. ▫ ▫ ▫ ZESZYT 6.

ZJAZD CZŁONKÓW T. N. S. W.

NAKŁADEM TOW. NAUCZYCIELI SZKÓŁ WYŻSZYCH
CZCIONKAMI I. ZWIĄZKOWEJ DRUKARNI WE LWOWIE UL. LINDEGO L. 4.
REDAKCYA I ADMINISTRACYA LWÓW, UL. MAŁECKIEGO 5.

„Muzeum“ wychodzi rocznie w 10 zeszytach co miesiąc z wyjątkiem lipca i sierpnia. Prenumerata dla niecztonków wynosi 12 koron rocznie.

REDAKCYA I ADMINISTRACYA LWÓW, MAŁECKIEGO 5.

TREŚĆ.

VIII. Zjazd członków T. N. S. W.

w Krakowie, dnia 27. maja 1917.

W SKŁAD KOMISYI REDAKCYJNEJ WCHODZĄ:

Dr. LUDWIK BYKOWSKI, ADAM CEHAK, ALEKSY MAKOWSKI, Dr. BOLESŁAW MAŃKOWSKI, Dr. MARCELI PRÓSZYŃSKI, Ks. Dr. ANTONI RATUSZNY, Dr. FRANCISZEK SMOLKA, Dr. ERNEST TILL, Dr. KAZIMIERZ TWARDOWSKI, JERZY DUNIN-WĄSOWICZ.

102

Od Redakcyi.

W trzecim roku wojny światowej, toczonej w wielkiej części na naszych ziemiach, wzmogła się, mimo całą grozę i nędzę wojny, siła narodu naszego, którego prawo do bytu samodzielnego uznały wreszcie mocarstwa europejskie i wolna Ameryka.

„Od stu lat z górą nie przeżywaliśmy chwil tak niezmiernie doniosłych, tak bardzo uprawniających do wiary, iż oto ziścić się muszą dążenia słusznej sprawy naszej i ideały narodowe, za które w przedziwnie wielkiej ofierze pokolenia całe składały krew swą i mienie i pracę życia. Dni bieżące uprawniają do nadziei, że przepadnie wiekowa ziem polskich niewola i gnębienie ducha polskiego. Ale wkładają i obowiązki: nieustannej pracy nad realizacyą wskazań narodowych, baczności nad tem, co czynią obcy i rozliczni „swoi", wytężenia sił, by nie dopuścić do nowego uszczuplenia nas na ziemi przodków i prawach wolnego narodu.

Dziś każdy Polak o polskiej duszy za wytyczną działania przyjąć musi nie uzyskanie koncesyjek dla wygodniejszego bytowania w ciasnych granicach swych dzielnic — lecz odzyskanie Macierzy, powrót na jej łono. A dla dzieci naszych zdobyć musimy szkołę polską — dla wszystkich dzieci polskich. O nie mniejszą rzecz walczyć trzeba jak o jedność i całość narodu".

Pod tem hasłem przygotował Zarząd główny Towarzystwa tegoroczny Zjazd członków, na który zaprosił nauczycielstwo polskie i innych obywateli kraju dbałych o dobro i przyszłość szkoły i wychowania nie tylko z naszej dzielnicy ale i z dawnego zaboru rosyjskiego i z za kordonu pruskiego. Chodziło o to, aby zdać sobie sprawę z zadań nauczyciela polskiej szkoły średniej w tych warunkach, porozumieć się co do programu pracy na całym obszarze ziem polskich, a przynajmniej przygotować możność takiego porozumienia.

Jak nam się to udało, świadczyć ma niniejsze sprawozdanie, które wydajemy jako „Pamiętnik zjazdu członków T. N. S. W. w Krakowie dnia 27. maja 1917". Dla całości obrazu, który nie mógł być — z przyczyn wynikających z wojny — idealnie wykończonym, dodajemy na tem miejscu niektóre szczegóły:

Zaproszenia nasze wywołały wszędzie, dokąd zdołały dotrzeć, jak najserdeczniejszy odzew. Kto tylko mógł, stawił się na obrady krakowskie, tak że Aula czcigodnej wszechnicy Jagiellońskiej ledwie mieściła uczestników zjazdu.

Witała przybyłych po gospodarzu gmachu, Magnificencyi Rektorze uniw. Jagiellońskiego, także Reprezentacya król. stoł. miasta Krakowa a wśród dalszych przemówień oklaskiwano entuzyastycznie przemowę delegata Departamentu W. i O. Tymczasowej Rady Stanu, prof. Wł. Wóycickiego z Warszawy.

Prócz niego jawił się i wicemarszałek Rady Stanu p. Mikułowski-Pomorski, a w obradach uczestniczyli prócz referentów z Królestwa także dyr. Kaz. Kujawski i ks. Gralewski z Warszawy i dyr. Włodarski z Olkusza.

Nie brakło członków Rady szkolnej krajowej, obecny był także b. jej wiceprezydent dr. I. Dembowski. Oddział szkolny przy generał-gubernatorstwie w Lublinie reprezentowali pp. inspektorowie dr. Reiter, Żłobicki i Łopuszański; sprawy urzędowe uniemożliwiły przybycie p. generał-gubernatorowi Ekscel. hr. Szeptyckiemu.

Profesorowie obu uniwersytetów krajowych, prezydya wielkich zrzeszeń nauczycielskich (Związek polskiego nauczycielstwa ludowego, Polskie Towarzystwo Pedagogiczne, Stowarzyszenie nauczycielstwa polskiego w Warszawie i Oddział jego w Lublinie) i Towarzystwa Polskiego Instytutu Pedagogicznego w Krakowie, posłowie do Rady państwa Ekscel. Głąbiński i dyr. Rychlik stanęli obok członków Towarzystwa, dyrektorów i nauczycieli szkół średnich galicyjskich przybyłych ze wszystkich siedzib tych szkół na Śląsku i w naszym kraju.

Nie mieliśmy wśród siebie nikogo z Poznania, skąd prócz kartki b. posła mec. Chrzanowskiego otrzymaliśmy od syna ś. p. prof. Karwowskiego tylko zawiadomienie, że jego ś. p. Ojciec już „niestety nie dożył chwili, gdzie wspólnie z Braćmi z całej Polski mógłby był radzić nad rozwojem przyszłej szkoły narodowej!“ — ani z Litwy.

Nastrój zebrania i przekonania uczestników charakteryzuje najlepiej rezolucya prof. I. Chrzanowskiego — drukowana we wszystkich pismach polskich — i jej przyjęcie. Dążenia i cele całego nauczycielstwa polskiego widoczne ze zgodności kierunków jego prac i usiłowań bez względu na miejsce, gdzie się je podejmuje: polskiej myśli pedagogicznej potrzeba tylko warunków sprzyjających wykonaniu!

Drukowaliśmy tylko przemówienia doręczone sekretaryatowi na piśmie; sekretarzami Zjazdu byli pp.: prof. Kazimierz Chmielewski z Lublina, Wł. Koch z Krakowa i F. Popiołek z Cieszyna.

We Lwowie, w lipcu 1917.

VIII. ZJAZD CZŁONKÓW T. N. S. W.

w Krakowie, dnia 27. maja 1917.

Magnificencya Rektor Uniw. Jagiellońskiego Szajnocha:

Wielce Szanowni Panowie!

Nie poraz pierwszy Uniwersytet Jagielloński ma zaszczyt witać w swych murach Zjazd Towarzystwa Nauczycieli szkół wyższych, które przed 34 laty tutaj w Krakowie powstałe, tylu węzłami zawsze z naszą wszechnicą było związane. Witamy też Szanownych Panów jaknajserdeczniej, jak gościa miłego i drogiego, który wchodzi w mury tego miasta ze szczerem pragnieniem poważnej pracy około dobra narodu.

A czyż może być donioślejsza praca narodowa, jak piecza nad wychowaniem i wykształceniem naszej młodzieży, tego najcenniejszego żywego skarbu ojczyzny, który ma ją utrzymywać, utrwalać i ciągle odmładzać?

Czyż może być większe i wdzięczniejsze zadanie dzisiaj, gdy z tej strasznej trzyletniej wojny światowej wyłania się nasza wymodlona i wytęskniona od 100 lat, wolna niepodległa Polska, jak obmyślenie i przygotowanie budowy nowego, niezależnego narodowego szkolnictwa i wychowawczego systemu?

Na porządku dziennym tegorocznego Zjazdu Szanownych Panów stoi też na pierwszym planie ten wielki temat i słusznie, gdyż ten przedmiot obchodzi całe bez wyjątku społeczeństwo polskie i tam, gdzie niema już ohydnych więzów rosyjskiego ciemięstwa, i tu także, gdzie mamy wprawdzie od wielu lat swobodę nauczania w języku ojczystym, ale gdzie przecież skrępowani jesteśmy wielokrotnie systemem szkolnictwa częściowo obcym, pod niejednym względem obecnie już przestarzałym i naszym dzisiejszym potrzebom nieodpowiednim.

Uniwersytet Jagielloński nieraz zwracał uwagę na potrzebę reform w szkołach średnich Galicyi, a bezpośrednio przed woj-

*

ną zwrócił się nawet w tej sprawie, t. j. co do sposobu nauczania młodzieży z tych szkół wychodzącej, do naszej najwyższej magistratury, t. j. do Rady Szkolnej krajowej. Sprawa nie mogła być wtedy omówiona ze wszystkich punktów widzenia, jakby to niesłychana doniosłość rzeczy była wymagała, gdy przyszła wojna straszna i bezlitosna i niszcząca niejedno z dotychczasowego indywidualnego i zbiorowego bytu. Nikt nie przypuszczał przed trzema czy czterema laty, że zapasy wojenne obejmą wszystkie części świata, setki milionów ludności i wszystkie niemal cywilizowane narody, dumne dotąd zawsze, tak w Europie jak Ameryce, ze swej kultury, z odwiecznej cywilizacyi i z prawideł naturalnej etyki, wszczepianej każdemu dziecku codziennie w milionach szkół wszelakiego rodzaju. Wojna wstrząsła nietylko politycznemi i ekonomicznemi podstawami niemal każdego państwa w Europie, lecz wstrząsła niestety także i etyką publiczną i prywatną i odsłoniła — oprócz bardzo wielu niezaprzeczalnych objawów bohaterskich i najzwnioślejszych — w każdem społeczeństwie tyle stron ciemnych, że pytania rodzą się na ustach – może nieraz zbyt cicho i lękliwie — czy po to od tylu wieków cywilizacya rozszerzała coraz dalsze kręgi, a kultura pogłębiała się coraz bardziej, aby miliony ludzi zabijały się i ginęły, a pustynie powstawały tam, gdzie poprzednio były kwitnące dobrobytem miasta i sioła? Tych smutnych pytań przemilczyć teraz nie wolno, tam, gdzie z gruzów odbudować się ma nową przyszłość, i u nas zwłaszcza, gdzie dla naszego narodu otwiera się n o w a e r a niepodległości i samorządu, era swobodnego zupełnie rozwoju ducha, myśli, słowa i czynu. Dzisiaj też, gdy gdziekolwiek mówić zaczynamy o reformach naszego polskiego szkolnictwa, to zdaje mi się, nie wolno nam oczu zamykać na nauki tak strasznie bolesne wojny obecnej i zrąb nowego gmachu całego polskiego przyszłego szkolnictwa musimy zakładać odpowiednio do t r o j a k i c h potrzeb dzisiejszej chwili i dalszej przyszłości, t. j. do potrzeb narodowych, do potrzeb ogólnoludzkich i do potrzeb, że tak powiem, realnego życia.

P o t r z e b y n a r o d o w e są jedne na całym obszarze ziem polskich: one polegają w swobodzie używania ojczystego języka, w przeniknięciu systemów szkolnych własnym duchem, własną przeszłością i historyą, w możności wszczepienia w ka-

104

żdą jednostkę tych cnót narodowych, bez których żaden naród istnieć nie może, jeśli nie ma się rozsypać w tłum bezmyślny, bezsilny, a hałaśliwy. Wyodrębnić też musimy naszą przyszłą szkołę od szkodliwych i przestarzałych wpływów obcych, chociaż z drugiej strony nie powinniśmy popadać w skrajny zapęd zrywania wszelkich już wypróbowanych węzłów, łączących nas od wielu lat z kulturą i szkolnictwem naszych najbliższych zachodnio-europejskich sąsiadów.

Potrzeby ogólno-ludzkie dzisiaj po smutnych doświadczeniach trzyletniej największej wojny światowej muszą być niezbędnie uwzględnione w tym etycznym katechizmie życiowym, jaki wpaja szkoła w każdą młodą duszę. Nie przepisy prawa międzynarodowego, które tak bezsilnymi okazały się w trzech latach ostatnich, lecz zasady prawdziwej etyki chrześcijańskiej i prawdziwej miłości bliźniego a nie nienawiści wszczepiać bezustannie należy w młodocianą duszę, gdyż miłość chrześcijańska nie powinna znać różnic plemiennych, a nienawiść raz rozbudzona, zwraca się nieraz w nieszczęsnym omamieniu — przeciw swoim najbliższym.

Społeczeństwa dotychczasowe za wiele, zdaje się, liczyły na wpływ uszlachetniający etyczny klasycyzmu i humanizmu, i pod tym względem zawód je spotkał kompletny, i mimowoli przychodzi tu na myśl, czy rozczytując się w łacińskich i greckich autorach, nie za wiele rozkoszowaliśmy się w opisach różnych wojen, nieraz bardzo bohaterskich, ale zawsze okrutnych i barbarzyńskich.

Potrzeby życia realnego, to nieugięta konieczność liczenia się z wymogami przyszłego ustroju ekonomicznego każdego Państwa, które przedewszystkiem będzie musiało dbać o to, aby samo mogło własną ludność wyżywić i odziać i zaspokoić swoje potrzeby techniczne własnymi płodami i własną pracą. A więc rolnictwo, jego wszystkie gałęzie, i technika ze wszystkimi nowoczesnymi działami, to jest przedewszystkiem pole do natychmiastowej i najintenzywniejszej pracy dla każdego społeczeństwa, a więc i dla nas, i z tem ustrój przyszłego polskiego szkolnictwa musi się liczyć bezwzględnie, jeśli ma dostarczać państwu i narodowi istotnie potrzebnych sił roboczych w odpowiedniej ilości. Samodzielnych, a gruntownie wykształconych pracowników będzie nam potrzeba na każdem polu pra-

cy narodowej, pracy umysłowej i ręcznej, i tutaj też nie wolno nam zamykać się w dawnych formułkach tak zwanych klasycznych systemów, lecz będziemy musieli, zdaje mi się, zstąpić z zamglonych wyżyn klasycyzmu i niejedną przedsięwziąć zmianę studyów filologicznych języków martwych na korzyść nauk przyrodniczych, dzisiaj niezbędnych i podstawowych dla realnego bytu każdego nowoczesnego samoistnego ustroju państwowego. Do takiej zmiany naszych szkolnych dotychczasowych systematów jest dzisiaj już czas najwyższy, jeśli w wolnem państwie polskiem nie mamy znowu wydać naszych przyrodzonych skarbów i naszej ziemi na łup obcych żywiołów i obcych sił fachowych, niezawsze asymilujących się szybko i na korzyść polskiego narodu.

Zdaje mi się, że teraz przychodzi także chwila zastanowienia się nad systemem dwustopniowości naszych szkół średnich, która coprawda związana jest u nas dotąd z rozmaitymi administracyjnymi przepisami i przywilejami, ale która w interesie koniecznego przyszłego powiększenia materyału naukowego z zakresu nauk przyrodniczych, a nawet ekonomicznych, byłaby raczej do zniesienia, niż utrzymania.

Niemniej poważną i naglącą staje się także sprawa ujednostajnienia i pogłębienia nauki w *żeńskich szkołach* średnich, które coraz liczniejsze zastępy niezawsze dostatecznie przygotowanej młodzieży wysyłają do filozoficznych i medycznych fakultetów naszych Uniwersytetów. Jak z jednej strony niesprawiedliwością jest niedopuszczanie jeszcze dotąd przez państwo kobiet do fakultetów prawniczych i do akademii technicznych, dzisiaj, gdy tysiące kobiet pracuje w najróżnorodniejszych biurach, i gdy państwo potrzebuje w interesie swego bytu najwydatniejszej pracy każdej jednostki, to i z drugiej strony musi się dbać o to, aby kobiety, wchodzące do szkół wyższych, miały istotnie potrzebne do tego zdolności i przygotowanie, gdyż inaczej ani wszechnicom, ani państwu, ani im samym najmniejszego pożytku wyższe ich studya przynieść nie mogą.

Oto niektóre punkta ewentualnych reform, których rozważenie, teraz przy budowie nowego gmachu polskiego szkolnictwa byłoby — zdaje mi się — bardzo wskazane.

Mógłbym przytoczyć może jeszcze jedno lub drugie inne pytanie, nasuwające się także co do ustroju przyszłego polskie-

105

go szkolnictwa, lecz wszystkie one będą niewątpliwie rozważane w ciągu obrad Szanownych Panów przez najbardziej doświadczonych i ukwalifikowanych pedagogów i nie moją jest rzeczą wkraczać w tak obfity porządek dzisiejszego Zjazdu. Jako gospodarz chwilowy tego gmachu witam więc raz jeszcze w imieniu Uniwersytetu Jagiellońskiego Szanownych Panów jaknajserdeczniej, życząc Zjazdowi najlepszych i najrychlejszych wyników Waszych obrad, i powtarzając słowa posła Małachowskiego, wypowiedziane na sejmie w Warszawie 21. października 1776 roku, że „mówić o Edukacyi jest wspomnieć o najpierwszym Narodu szczęściu, jest wydobyć źródło najobfitszych dla całego kraju pomyślności, jest na koniec rzucić wyborne nasienie pożytecznych, trwałych i niezawodnych dla nas i następców naszych zysków i owoców".

*

Prezes Towarzystwa, prof. uniw. lwowskiego dr. E. Till:

Za łaskawe i piękne słowa powitalne Jego Magnificencyi Rektora ukochanej naszej prastarej Wszechnicy Jagiellońskiej, natchnione życzliwością dla stanu nauczycielskiego, miłością ojczyzny i gościnnością staropolską i za niemniej serdeczne wyrazy, z jakimi nas przyjęła Prześwietna Reprezentacya Grodu tego, składam imieniem zebranych tu reprezentantów zawodu nauczycielstwa polskiego serdeczne Bóg zapłać. Szczęśliwym się czuję, że pierwszy zjazd nauczycielstwa, któremu mam zaszczyt przewodniczyć, odbywa się w tem środowisku dawnej kultury polskiej, wśród tych murów, z których na każdym kroku spoglądają na nas świetne tradycye wiekowe. Mam przekonanie, że nastrój wywołany tem środowiskiem, wpłynie bardzo dodatnio na tok obrad naszych.

A skoro nam dzięki tej gościnności wolno na chwilę uważać się tu za gospodarzy, witam dostojnych gości naszych, dziękując, że raczyli zaszczycić obrady nasze Swą obecnością, — witam reprezentantów władz rządowych i autonomicznych, których opiece polecamy gorąco nasze usiłowania, witam reprezentantów dostojnego i czcigodnego Duchowieństwa naszego, które pod przewodnictwem J. Exc. księcia Biskupa Krakowskiego niezapomniane usługi oddało społeczeństwu naszemu w tych niezmiernie ciężkich próbach, jakie my wszyscy przeżywaliśmy i przeżywamy. Witam Prezydenta Rady szkolnej, naszej bezpośredniej sterowniczki.

Z szczególną radością witamy przybycie gości z Królestwa, delegata Departamentu Wyznań i Oświaty Rady Stanu, tej pierwszej władzy proklamowanej Polski; witamy ich sercem przepełnionem najpiękniejszemi nadziejami.

Witam także gości z naszego Śląska; żałuję, że nie mogę powitać przedstawicieli trzeciej naszej dzielnicy.

Witam dalej reprezentantów Towarzystw oświatowych o równych lub pokrewnych z nami celach, którzy przybyli, aby razem z nami pracować, a między którymi widzę Wiceprezesa nowego Instytutu pedagogicznego.

Witam reprezentantów prasy, której bardzo wdzięczni jesteśmy za to, że tak chętnie popiera nasze cele.

Witam wreszcie wszystkich tych, którzy, chociaż nie związani bezpośrednio z naszem Towarzystwem, przybyli tu interesując się naszą pracą, za co im się serdeczna od nas należy podzięka.

Zagajenie Zjazdu.

Tłem, na którem uwydatnią się dzisiejsze nasze obrady, są wypadki dziejowe, których nie tylko świadkami jesteśmy, ale w pośród których powołani jesteśmy — od lat wielu po raz pierwszy — do czynnego udziału w ukształtowaniu się naszych losów w niedalekiej przyszłości.

Dążenia i nadzieje, któremi podtrzymywaliśmy się przez cały długi wiek, są bliskie urzeczywistnienia. Jeszcze piętrzą się trudności, horyzont nam się niejednokrotnie zaciemnia, to znowu rozjaśnia; jedno wszakże jest pewnem, to jest, że idea niezależnej Polski, podniesiona manifestem państw centralnych, stwierdzona przez państwa porozumienia, uznana przez państwa neutralne, a więc nigdzie i przez nikogo nie zaprzeczona, wykreślić się nie da z dziejów chwili obecnej i prędzej czy później zrealizowana będzie.

Ten stan rzeczy, to bliskie urzeczywistnienie naszych głęboko i bezustannie w sercu żywionych pragnień, nakłada na stan nauczycieli polskich trudne co prawda ale szczytne, a z ufnością i wiarą pokonać się dające obowiązki.

Byłoby to uroszczeniem, którego nie mógłbym sobie darować, gdybym, stawając dziś po raz pierwszy przed Zjazdem

106

nauczycielstwa, w którym bierze udział tyle znakomitych i doświadczonych sił, chciał, choćby we formie najogólniejszej, kreślić kierunek naszych prac i obrad. Będzie to przedmiotem referatów, jakie postawiliśmy na porządku dziennym Zjazdu, a w których kwestye te na podstawie doświadczeń i wiedzy wielostronnie będą rozbierane i Waszej decyzyi poddawane. Wszakże wolno mi może stwierdzić, że wypowiadając w kwestyach szkolnictwa oparte na miłości Ojczyzny i doświadczeniu zdania i postulaty, niczem innem kierować się nie możemy, jak tylko hasłem: *Salus Reipublicae suprema lex esto*... Różnić się możemy ze względu na sposoby organizacyi, na metody, które zastosować należy, na systemy, które przyjąć nam wypadnie, — możemy nawet błądzić w jednym lub w drugim kierunku; jednak co do tego dopiero wypowiedzianego hasła nie różnimy się, jesteśmy jedni skądkolwiek przebywamy. To stwierdzić możemy z całą stanowczością. Przekonanie, że pracujemy dla siebie, że nam nikt obcy z góry praw dyktować nie będzie, doda nam otuchy i siły, ale też zwiększy naszą odpowiedzialność wobec swojego społeczeństwa. Powodzeniem szczycić się będziemy, ale winę niepowodzenia nie będziemy mogli złożyć na nikogo innego, a to nas powinno skłonić do tem większej przezorności.

Rzut oka na stan aktualny przekona nas, że w bilansie naszego szkolnictwa, w porównaniu do minionego okresu, możemy zanotować niejedną pozycyę dodatnią, że jednak niestety nie brak i ujemnych.

Rozpoczynając od Królestwa, do wielce dodatnich zaliczyć nam wypada symptom, że szerokie warstwy tam, od pierwszej chwili, gdy znikły więzy nakładane przez biurokracyę rosyjską, nie zwlekając ani chwili, z niezmierną energią, w czasie, gdy jeszcze na niwach naszych nie ulotnił się zapach prochu, rozwinęły żywą działalność w kierunku zakładania i organizacyi szkół niższych i średnich i że ta działalność nie tylko nie słabnie, lecz ile możności wzrasta, że wydawnictwa szkolne w tysiącach po kraju rozchodzą się egzemplarzy, że Macierz Polska odżyła i pracuje nie tylko w Warszawie i okupacyi niemieckiej, ale rozciąga swą działalność także na okupacyę austryacką, że w Warszawie utworzoną została przez samo społeczeństwo, obok funkcyonujących już Uniwersytetu, Politechniki i Kursów

o poziomie akademickim, Szkoła dyplomatyczna, że samorzutny odruch, objawiający się w tworzeniu gęstej sieci szkół polskich ogarnął także warstwy ludowe, które dotąd były bardziej obojętne. Do objawów dodatnich zaliczyć możemy także usunięcie z programu szkół ludowych w obszarze okupacyi austryackiej obowiązkowej nauki języka niemieckiego, nie dlatego, jakobym przeczył pożyteczności dla nas nauki tego języka, lecz dlatego, że nie szkoła ludowa jest miejscem, w którémby on właściwą swą misyę spełnić zdołał. Z zadowoleniem podnieść należy, że w zajętym przez okupacyę austryacką obszarze obowiązki nauczycielskie powierzono siłom rodzimym pod nadzorem wypróbowanych inspektorów polskich.

Do stanu biernego wstawić musimy pod tym względem stan w okupacyi niemieckiej, gdzie — jak dotąd — szkoła ludowa utrzymywaną jest w ścisłej zależności od władzy okupacyjnej, gdzie do szkół żydowskich wprowadzono żargon a polski język systematycznie bywa pomijany.

W zakresie szkół fachowych radować się możemy utworzeniem Akademii rolniczej w Puławach, która oby wskrzesiła dawne tradycye, a w zakresie popularyzowania nauk — nawiązaniem kontaktu naszej dzielnicy z Królestwem przez odbywanie wykładów powszechnych uniwersytetu lwowskiego w Lublinie.

Zbyt świeże są jeszcze wydarzenia warszawskie z 1. i 3. maja, zbyt szczupłe wiadomości, jakie nas o nich dochodzą, aby możebny był bezstronny o nich sąd. Wolimy więc na razie przypuszczać, że wywołane one zostały naturalnem napięciem samego dotąd trwającego stanu wojennego aniżeli głębiej sięgającymi zbyt daleko idącymi zapędami władzy. Trudności położenia, w jakiem znajduje się ludność Królestwa, są wielkie. Ile wyrozumiałości, zaparcia się, ile taktu i zimnej krwi położenie to wymaga, pojmie każdy, kto porówna treść zapowiedzi manifestu z 5. listopada, wskrzeszenie uniwersytetu i politechniki i inne podobne objawy ze stanem faktycznym, który z owymi faktami w rażącej często zostaje sprzeczności. Jest to jakby odbicie obrazu, jaki przedstawiają stronnictwa w parlamencie niemieckim: z jednej strony dążność poprzestania na stanowisku obronnem, z drugiej tendencye agresywne i zaborcze. Przetrwaliśmy tyle nieszczęść i klęsk, Bóg nam dopomoże,

że i z tych zapasów wyjdziemy nie tylko obronną ręką ale zwycięzko.

Szczególnie smutno przedstawiają się — o ile nasze wiadomości sięgają — stosunki szkolnictwa polskiego na Litwie. Działa tu obok niedostatecznej ilości nauczycieli polskich, brak poparcia ze strony władzy okupacyjnej

szczególnie niedopuszczanie przejścia nauczycieli polskich z Królestwa, zamknięcie uniwersytetu ludowego założonego miejscowemi siłami, popieranie szkół niemieckich. Mimo to wszystko nasze społeczeństwo tamtejsze nie opuszcza rąk i, jak dochodzą wieści, krząta się w dziedzinie szkolnictwa gorliwie i skutecznie.

Z zaboru pruskiego również nic pocieszającego nie mamy do zanotowania. Nic się tam w szkolnictwie na lepsze nie zmieniło. Ze słów p. Wilmsa wygłoszonych w parlamencie dowiedzieliśmy się, że dzieciom naszym wolno uczyć się religii po polsku — w domu! Czy to ma być koncesya?

W Galicyi na pierwszy plan wysuwa się zmiana w kierownictwie naczelną władzą szkolną krajową. Jako zastępca Jego Eksc. Namiestnika w sprawach szkolnych stanął mąż, powitany przez nas wszystkich z jednomyślnem zaufaniem i przychylnością. Wyszedł on z grona tej naszej ukochanej prastarej Wszechnicy Jagiellońskiej, której Senat jeszcze niedawno w pamiętnym akcie z r. 1914 przystąpił śmiało do dyagnozy niedomagań szkolnictwa naszego i udzielił na troskliwem ich zbadaniu opartych rad, podnosząc szereg haseł pedagogicznych. Roztropność i energia, z jakiemi Pan Wiceprezydent rozpoczął swe urzędowanie w tym samym duchu, tak w kierunku umysłowego i fizycznego wychowania młodzieży jakoteż w interesie ułatwienia stanowi nauczycielskiemu ciężkiego, zwłaszcza w obecnych chwilach, zadania, uprawniają nas do tego, że ze spokojem i otuchą spoglądamy w przyszłość, a możemy to tem łatwiej, że jak wiemy z najnowszych enuncyacyi, między J. E. p. Namiestnikiem a jego zastępcą w sprawach szkolnych istnieje zgodność zapatrywań i zamiarów, która nam daje gwarancyę, że sprawy wychowania ze świadomością celu a pominięciem rutyny biurokratycznej jak najlepiej będą pokierowane. Oczekiwaniom tym dawaliśmy niejednokrotnie wyraz w naszym organie, i mamy pełne przekonanie, że się ziszczą w zupełności.

Przejścia wojenne, których bezpośrednią widownią były i są dotąd kraje polskie, wywołały między młodzieżą polską, przerzucaną z miejsca na miejsce, pozbawioną swych uczelni i nauczycieli, stosunki, które ciężką troską napełniały ich wychowawców. Trzeba było obmyśleć sposoby, aby ile możności uchylić szkodliwe skutki przerwy nauki i rozluźnienia łączności rodzinnej, trzeba było młodzieży dać zajęcie, które pożyteczne dla jej przyszłości, dopomogłoby jej zarazem do przetrwania bez szkody dla siebie ciężkich przejść wojennych. Stwierdzić należy, że nauczycielstwo nasze, chociaż samo znalazło się w bardzo ciężkich warunkach, wedle sił spełniło to swoje zadanie. Urządzano kursa wakacyjne, organizowano kółka naukowe i warstaty praktyczne, a usiłowania te przyjmowała młodzież chętnie, garnąc się do nich. Z zadowoleniem można stwierdzić wogóle, że młodzież szkół średnich okazuje wiele zrozumienia wyjątkowych warunków, w jakich się znalazła, o czem świadczy między innemi niespodziewany zgoła rezultat akcyj szkół galicyjskich na potrzeby ogólne, na rzecz Czerwonego Krzyża, pożyczek wojennych i t. p.

Część dzielnicy naszej: Pokucie i Ziemia Tarnopolska jeszcze zajętą jest przez wojska nieprzyjacielskie. Co się tam dzieje z naszemi szkołami i ich pracownikami, co z młodzieżą, która tam pozostała, o tem wiadomości nie mamy, a tylko rzadko dochodzą nas wieści, których wiarogodności sprawdzić nie można.

Obawiam się, że znużyłbym Szan. Zgromadzenie, gdybym się chciał zapuszczać w dalsze szczegóły. O tem, co nam przyniesie najbliższa przyszłość, jak się ukształtują losy nasze, w dzisiejszej chwili orzekać trudno. Ale to jedno powiedzieć sobie musimy, że dziś już działalności naszej w zakresie szkolnictwa w granicach dzielnic zamykać nam nie wolno! Hasłem naszem powinna być jednolita szkoła polska bez względu na obszar, w którym się tworzy lub znajduje.

*

Wiceprezydent Rady szkolnej krajowej, dr. F. Zoll:

Wiemy, czujemy to wszyscy: Czeka nas ogromne zadanie: odrodzenie. My Rada szkolna, my nauczycielstwo, my wszyscy mamy je przygotować. My mamy uprawić nowy ugor, my

108

zdrowe ziarno weń posiać, my — wychować nową generacyę. Ale nadewszystko: Powinniśmy kształcić i rozwijać cnotę, „virtus“ męstwo, siłę woli, hart ducha, „bo cnota to klejnot drogi, którego nie wydrze nieprzyjaciel srogi, nie spali ogień, nie zabierze woda, nad wszystkiem innem panuje przygoda“.

I dotąd cnoty nie wydarto. Przed tylu laty zabrano nam miecze, ale nie wydarto i nie zdołano złamać ducha. Mieliśmy wielkich nauczycieli i ciągle ich mamy — bo oni nieśmiertelni — Mickiewicz, Krasiński, Słowacki i ten czwarty, co niedawno zamknął oczy w Szwajcaryi. Ale wielką ich spuściznę należy wszczepiać w młodzież, ich ducha utrwalać, zrobić go tak twardym jak stal, jak te miecze, które nam teraz zwracają.

A to zadanie — kto je ma spełnić? Nie kto inny jak liczne rzesze naszego nauczycielstwa.

Zadanie ogromne, a warunki jak najgorsze: Strach pomyśleć, jak przerzedzone szeregi nauczycieli — a na tem jeszcze nie koniec; budynki i urządzenia szkolne zniszczone, zabrane lub zajęte — nie ma gdzie uczyć; byt materyalny nauczycieli tak bardzo podkopany i smutny — wszak nawet brak chleba; a Rada szkolna mimo usilnych starań stosunkowo tak mało pomódz może.

Pomimo tych twardych warunków nauczyciele cel swój osiągną, zadanie spełnią, bo w nas jest zapał, są ideały, my mamy wielkie posłannictwo, my wiemy, że się odrodzić musimy; my więc przetrzymamy, my zwyciężymy.

Trzeba nam jednak: Wiary i Zgody. Sursum corda! Wierzmy w nasze posłannictwo, a zapalmy się tym świętym Ogniem, który tchnie z Ody do młodości. Wszak wszyscy musimy być młodzi w tej pracy nad odrodzeniem. „Zestrzelmy myśli w jedno ognisko i w jedno ognisko duchy!“ I członkowie Rady szkolnej krajowej i nauczyciele i to Wasze Towarzystwo i wszyscy, coście tu przybyli lub przybyć nie mogli, wszyscy starzy, młodzi i młodsi: Wszyscy razem, zgodnie i łącznie do jednej wielkiej pracy ku odrodzeniu!

W tej myśli witam Wasze zebranie i życzę pracom Waszym najlepszych wyników. „Szczęść Boże“.

*

Profesor Uniw. Jagiellońskiego J. Chrzanowski zgłosił niemilknącymi oklaskami przyjętą rezolucyę:

Solidaryzując się z poglądem nauczycielstwa polskiego, zebranego na niedawnym zjeździe w Warszawie, że „szkoła narodowa może rozwijać się odpowiednio do potrzeb społeczeństwa jedynie w wolnem i niepodległem państwie polskiem“, nauczycielstwo polskie, zgromadzone w Krakowie na dorocznym zjeździe Towarzystwa nauczycieli szkół wyższych, uznaje, że szkolnictwo polskie tylko na niepodległej ziemi polskiej wzrastać i kwitnąć może; to też wyraża cześć i podziękę przedstawicielom narodu, którzy bronili tego stanowiska, bronią i, da Bóg, obronią.

Sekretarz Towarzystwa p. Makowski odczytuje nadesłane telegramy i pisma:

Ekscellencya Ks. Arcybiskup Józef Bilczewski.

Dziękuję serdecznie za łaskawe zaproszenie mnie imieniem Zarządu głównego Towarzystwa nauczycieli szkół wyższych na tegoroczne Walne Zgromadzenie Towarzystwa. Żałuję, że nie mogę w niem wziąć udziału, bo mam w tym czasie uroczyste nabożeństwa w kościele. Bardzo obradom Czcigodnych Panów błogosławię i życzę najlepszych wyników.

Magnificencya Rektor dr. Twardowski (Lwów).

Nie mogąc przybyć osobiście zasyłam Zjazdowi członków i Walnemu Zgromadzeniu imieniem Uniwersytetu lwowskiego gorące życzenia owocnych obrad i skutecznego współdziałania około stworzenia obejmującego cały naród szkolnictwa polskiego.

Uniwersytet Warszawski, Rektor.

Pismo JWPanów zapewne z winy utrudnionej komunikacyi pocztowej otrzymałem już po terminie Zjazdu, przesyłam więc wyrazy podziękowania za łaskawe zaproszenie, z którego niestety skorzystać nie mogłem, i życzenia, by prace Zjazdu wydały w czasie najkrótszym plon najobfitszy.

Sekretarz J. Ekscel. Namiestnika Galicyi.

Jego Ekscelencya Pan Namiestnik polecił mi podziękować Panom najserdeczniej za łaskawe zaproszenie na Walne Zgromadzenie a zarazem oznajmić, że z powodu urzędowych wyjazdów 27. i 28. w Krakowie nie będzie i udziału w Zgromadzeniu wziąć nie może.

Wojciech Górski, nestor dyrektorów prywatnych szkół średnich w Królestwie, przesłał z Warszawy następujący telegram (po niemiecku):

Żałuję, że niepomyślne okoliczności nie pozwoliły mi przybyć na odbywający się właśnie Zjazd nauczycielski. Zbliżenie sił pedagogicznych dwu dzielnic wzmocni wspólną naszą pracę dla narodu. Sercem i myślą

109

jestem z Wami, czcigodni Panowie! Przewodniczącemu Zjazdu i wszystkim szanownym uczestnikom zebrania przesyłam najserdeczniejsze pozdrowienia.

Mec. Bernard Chrzanowski, (Poznań).
Niestety przyjechać nie będę mógł, gdyż leżę w klinice a i w czasie Zielonych świąt nie wiem, czy zdrowie by mi pozwoliło. Poza tem jest i druga może ważniejsza przeszkoda. Wątpię, abym otrzymał pozwolenie. Staram się już wynaleźć innego gościa, lecz trudno o niego wogóle ze względu na wymienioną przeszkodę. Piszę kartę, gdyż listy do Lwowa bardzo długo jadą.

Radca rządu (Dyrektor gimnazyum stanisławowskiego) dr. M. Jezienicki z Wiednia:
Imieniem nauczycieli szkół średnich Polaków we Wiedniu przesyłam zebraniu obradującemu dla dobra naszego szkolnictwa i ojczyzny najserdeczniejsze pozdrowienia.

I. Referaty.

P. Kielski Bronisław (Kraków)
wygłosił obszerny referat*) p. t.: Główne problemy polskiego szkolnictwa średniego (Zarys programu prac), z którego wysnuł następujące wnioski:

1. Celem prowadzenia wspólnej akcyi przygotowawczej w kierunku należytego, na wspólnie opracowanych podstawach opartego zorganizowania przyszłej polskiej średniej należy powołać do życia organ pośredniczący dla porozumiewania się między T. N. S. W. a nauczycielstwem w Królestwie Polskiem;

2. celem osiągnięcia jednolitości na polu prac teoretycznych, należy zorganizować stałe porozumienie z Instytutem pedagogicznym i w tym celu zwrócić się do wydziału Instytutu z propozycyą ustanowienia wzajemnego przedstawicielstwa w łonie wydziałów Instytutu i Koła krakowskiego T. N. S. W.;

3. zorganizowanie systematycznych kursów dla uzupełnienia wykształcenia zawodowego nauczycieli oraz utworzenie komisyi redakcyjnej dla wydania polskiego *vademecum* pedagogicznego;

4. zorganizowanie przy każdem Kole T. N. S. W. komisyi odczytów dla publiczności o charakterze pedagogicznym;

*) Referat będzie drukowany w „Muzeum“.

5. zorganizowanie takiejże instytucyi dla kształcenia pozaszkolnego młodzieży drogą popularnych wykładów.

*

Radca R. Zawiliński (Kraków):

Ustrój przyszłej szkoły polskiej.

Może nareszcie nadejdzie chwila, kiedy naród nasz będzie mógł swobodnie stanowić o sobie i zwróci się z całym już okazywanym zapałem ku organizacyi szkoły swojej, mającej mu zapewnić przyszłość. Szkoła nie może być ani niemiecka, ani austryacka a tem mniej rosyjska, nie dlatego, jakoby te szkoły nie miały w sobie wiele dobrych pierwiastków, ale dlatego, że nowa szkoła musi być narodową to jest polską, zastosowaną do ideałów i potrzeb narodu polskiego.

Mówiąc o ideałach nie mamy na myśli ideałów jednostkowych, nawet tradycyj rodzinnych, ale mówimy o ideale narodowym powszechnym, który Bolesław Prus określił jako „doskonałość umysłową i fizyczną a przez nią najwyższą użyteczność publiczną, z której dopiero wykwita osobiste szczęście". (Najogólniejsze ideały życiowe). Nie może wytworzyć doskonałości umysłowej jednostronny intelektualizm, panujący dzisiaj w szkole średniej, nie osiągnie jej również uniwersalizm, hołdujący zasadzie ex omnibus aliquid...., a tem mniej indywidualizm, uwzględniający nawet kaprysy dziecka. Nie może zdobyć doskonałości fizycznej młodzieniec przykuty do ławki szkolnej 5—6 godzin przed południem, a tyleż jeżeli nie więcej popołudniu siedzący w domu nad przygotowaniem się do lekcyi dnia następnego, i to w wieku wzrostu i gwałtownych przemian cielesnych. O ile doskonałość umysłową osięgnąć można tylko wtedy, jeżeli szkoła rozwinie w młodzieży nie jedną tylko siłę ducha, nie rozum sam lub samo uczucie, ale zarówno rozum, uczucie, jak pamięć i wyobraźnię, jeżeli zahartuje wolę i uszlachetni serce — o tyle doskonałość fizyczną zyska się przez stosowne ćwiczenia, sporty, gry, pracę ręczną i znajomość hygieny, dziś tak strasznie zaniedbanej. Osobliwą też wagę położyć należy na wychowanie etyczne, na wykształcenie i zahartowanie woli, wytworzenie jasnego poglądu na świat i cele życia.

Takie muszą być ideały; a jakież życia potrzeby?

110

Jakie potrzeby może mieć naród, którego cechą analfabetyzm? Podług atlasu Polski Romera na 10 gubernij Królestwa Polskiego analfabetów 50—75% ma gubernij 9, a w jednej tylko ten % wynosi 25—50%; do tej samej kategoryi należy i Galicya wschodnia, chociaż daty jej odnoszą po większej części nie do narodowości polskiej, a nawet Galicya Zachodnia ma procent analfabetów 5—25%. Obok tego ma „hiperprodukcyę“ inteligencyi t. zn. ludzi, którzy ukończywszy gimnazyum klasyczne cisną się na uniwersytet i szukają celu życia w służbie urzędowej; wykształconego stanu średniego: kupców, przemysłowców, rzemieślników itp. prawie nie mamy, bo do szkół zawodowych idą niedobitki z gimnazyów, patrzący z zazdrością na kolegów, którym się otwarły podwoje uniwersytetu.

Jest tedy rzeczą niewątpliwą, że naród nasz dążyć musi do posiadania milionów ludzi oświeconych, setek tysięcy ludzi wykształconych a tylko tysięcy, a najwyżej dziesiątek tysięcy ludzi uczonych.

Czegóż potrzeba, aby być obywatelem oświeconym?

Wystarczy ukończenie należycie zorganizowanej szkoły pospolitej, obejmującej mniej więcej 6 lat nauki (rok życia 8—13). W tym przeciągu czasu powinno dziecko obu płci nauczyć się tego, co każdy obywatel kraju umieć powinien tj. czytać, pisać i rachować, i tego, co każdy wiedzieć powinien tj. poznać kraj swój ojczysty. W tę część drugą weszłaby tedy historya ojczysta (przeszłość), geografia i obraz stosunków obywatelskich obecnych (teraźniejszość). Z geografią połączyćby można obraz rodzimej fauny i flory, uzupełniony stosownemi ustępami w czytankach.

Środkiem takiej nauki musi być przedewszystkiem tzw. poglądowość, a więc rozwijanie spostrzegawczości i rozwijanie zdolności umysłowych, bez przeciążania pamięci i szczególnego oddziaływania na wyobraźnię. Niezbędneby tu było ograniczenie czasu nauki do 2—3 godzin dziennie, usunięcie zbytecznej pisaniny, bezcelowego siedzenia, i tym sposobem marnowania sił fizycznych i czasu. Usiłowanie stworzenia ze szkół pospolitych encyklopedyi nauk i wiadomości jak jest ze stanowiska praktyczności szkodliwe, tak ze stanowiska pedagogii budzi uśmiech politowania.

Nauka dopełniająca dla tych, którzy na stopniu oświeconych pozostać mają, objęłaby w dwu do trzech latach (r. życia 14—16) przedewszystkiem praktyczną naukę rolnictwa, ogrodnictwa, pszczelnictwa — na wsi, a rzemiosł, gospodarstwa domowego, szycia, robót — w mieście.

Uniwersytet ludowy miałby zadanie przez peryodyczne wykłady, powiązane w serye, uzupełniać wiadomości nabyte w szkołach a częściowo je i rozszerzyć, z uwzględnieniem potrzeb życia obywatelskiego.

Obywatel lub obywatelka z takiem wykształceniem, popartem samokształceniem, słusznie by się nazywała oświeconą.

Szkoła średnia ma wydać obywatela wykształconego. Naturalnie, że wykształcenie to musi się oprzeć na wiadomościach elementarnych, uzyskanych w szkołach pospolitych, ale tylko na tych rzeczach podstawnych, które są potrzebne do dalszego rozwoju umysłowego. Czy uczeń nabył tych wiadomości w domu, drogą nauki prywatnej, czy w szkole, rzecz to najzupełniej obojętna.

Aby się nazywać człowiekiem wykształconym, trzeba posiadać nie tylko gruntowne wiadomości o kraju ojczystym, ale o całym świecie cywilizowanym, szczególniej o narodach europejskich. Nadto poznanie czynników kultury, między nimi przynajmniej jednego języka klasycznego i języków nowożytnych, tworzy niezbędny środek wykształcenia średniego. Ze względu na cel ogólny nie można tu dawać przewagi żadnemu czynnikowi: szkoła średnia, tworząca obywatela ogólnie wykształconego nie może dawać przewagi ani językom starożytnym, ani naukom przyrodniczym lub technicznym; musi też mieć na oku i ten fakt, że równe wykształcenie ogólne otrzymać mają chłopcy i dziewczęta.

Jak sobie taką szkołę średnią wyobrażamy, podamy poniżej; tu tylko zaznaczamy, że na gruncie rzeczy swojskich ojczystych, rozwijać ma powoli znajomość rzeczy obcych i sposobu do rozumienia nie tylko stosunków najbliższych, ale zagadnień całego świata cywilizowanego. Nie sposobi tedy zawodowo, ale ogólnie, nie przeznacza z góry do pewnego urzędu czy zawodu, ale kształci przygotowawczo do wszystkich.

Dopiero po ukończeniu takiej szkoły (6-klasowej) podług okazanych zdolności i skłonności wybierałby uczeń drogę kształ-

111

cenia się zawodowego. Studya średnie rolnicze, handlowe, przemysłowe, wojskowe, seminarya nauczycielskie, i praktyki aptekarskie, kolejowe, pocztowe itp. stałyby uczniom otworem po ukończeniu takiej szkoły średniej.

Obywatele z takiem wykształceniem nazywaliby się słusznie wykształconymi, i do zawodu swego przysposobionymi. Tą samą drogą idzie aż dotąd młodzież, która na mocy okazanych i rozwiniętych zdolności i środków pragnie zdobyć wykształcenie wyższe, albo nawet poświęcić się badaniom naukowym. Nie wszyscy tedy, ale pewna część uzyska nawet miano uczonych. Nie potrzeba tu dodawać, że to wykształcenie wyższe musiałyby dawać szkoły specyalne i uniwersytety, i że do tego wykształcenia dopuszczaćby można tylko naprawdę uzdolnionych i utalentowanych. Bo jeżeli pewna służba publiczna wymaga od obywatela wykształcenia tzw. średniego, są natomiast urzędy i stanowiska, na które dostać się powinny tylko jednostki wyborowe, szczególnie utalentowane i stosownie wykształcone. To też za jednę z wad organizacyi naszych szkół średnich uważamy to zarządzenie, że każdemu abituryentowi, który nawet z biedą (większością głosów!) zdał tzw. maturę, pisze się, że jest „dojrzałym do studyów uniwersyteckich“!...

Można przecież ukończyć 8- czy 9-klasową szkołę średnią, a nie być „dojrzałym“ do studyów uniwersyteckich; można posiadać wiele, nawet bardzo wiele wiadomości, pamięciowo opanowanych, a nie posiadać uzdolnienia do badań naukowych. A przecież nie inaczej musimy patrzeć na uniwersytety, jak tylko jako na pracownie naukowe, i to na każdym wydziale.

Nie chcąc [1]) obniżać poziomu intelektualnego w narodzie, ale go owszem pragnąc podnieść, należy uznać wykształcenie uniwersyteckie za dostępne dla umysłów wybranych, dla główn naprawdę utalentowanych, i nie przez szkołę średnią w dzisiejszem rozumieniu, lecz przez specyalny kurs (dwu- lub trzechletni) do tego przysposobionych. Inaczej stosunek się zwichnąć musi, a naród będzie żył pozorami oświaty.

Jądro narodu tworzą masy rolnicze, robotnicze i rzemieślnicze; całe te masy powinny być oświecone, a liczne między niemi jednostki — przewódcy — nawet wykształcone. Kto ma

[1]) Odtąd prawie do końca referatu była ta część z pewnemi zmianami drukowana w zesz. 2. „Muzeum“ w r. 1912.

*

dać wieśniakowi nauczyciela, robotnikowi dozorcę i kierownika, żołnierzowi oficera, jaka szkoła ma wydać wykształconych przemysłowców, kupców, przedsiębiorców, całe zastępy urzędników niższych itp. itp.? Wydają ich szkoły zawodowe niewątpliwie, o ile dziś już oceniamy wartość tych szkół rolniczych, przemysłowych, handlowych; ale ci wszyscy ludzie obok tego, że będą zawodowcami, ponad to będą przedewszystkiem ludźmi i obywatelami kraju, mającymi tworzyć warstwę średnią, inteligentną, ale nie uczoną.

Wydać ich musi szkoła średnia nowa, dla wszystkich przystępna, szkoła taka, któraby wypuszczała wychowanków swoich jeszcze w latach chłopięcych, i pozwoliła im na różnych drogach zdobyć sobie wykształcenie zawodowe, o ile nie będą sposobni do studyów wyższych. Ona ich powinna kwalifikować; przez kilka lat kształcąc ich i rozwijając prawie od dzieciństwa, może wydać sąd o ich zdolności i wraz z rodzicami pokierować tak młodzieńcem, aby „jemu było później w życiu dobrze i aby z nim było dobrze".

Celem uniknięcia niepedagogicznego, a w skutkach często zgubnego wyboru zawodu przez rodziców już w 10 roku życia dziecka, musi przyszła szkoła średnia być jednolita, t. zn. nie może z góry przygotowywać do uniwersytetu lub politechniki, musi wszystkich wychowanków kształcić równo i przygotowywać wychowaniem do życia. Ze względu na to, że życie nasze jest za krótkie, aby rzeczom i stosunkom odległym poświęcać lwią część czasu szkolnego, nie może się szkoła średnia opierać na nauce języków i to tylko klasycznych, nie może wysuwać na plan pierwszy rozwoju tylko umysłu i gromadzenia wiedzy. T. zw. wykształcenie polega (podług znakomitego filozofa Fryd. Paulsena[1]) nie na posiadaniu wielu wiadomości, ale na posiadaniu żywych sił poznawania i działania; wiadomości bowiem same są tylko materyałem wykształcenia i nie chodzi o ich ilość, ale o wewnętrzne przetworzenie i zużytkowanie. Pewną ilość wiedzy można każdej głowie przyswoić, ale o ile ona nie wpłynie kształcąco, da połowiczne wykształcenie, złożone z fragmentów wiedzy narzuconej.

To też w nowej szkole średniej materyał naukowy, wymagający owładnięcia pamięcią, musi być zredukowany do mi-

[1]) Das moderne Bildungswesen (w Allg. Grundl. d. Kultur d. Gegenwart I. 1).

112

nimum, musi to być szkoła nie zadawania i egzaminowania, ale szkoła pracy, w której nauczyciel będzie przodownikiem, kierownikiem, doradcą i wszystkiem innem, tylko nie egzekutorem i sędzią.

Nowa szkoła średnia, uwzględniając w szerokiej mierze rozwój wychowanków fizyczny, może tylko tym sposobem utrzymać równowagę między nim a rozwojem duchowym, że ograniczy ilość przedmiotów do rzeczy prawdziwie kształcących, a przedewszystkiem blizkich i swojskich w myśl zasady: cudze wiedzieć dobrze jest a swoje potrzeba. Gruntowna znajomość przeszłości narodu, ziemi, na której się żyje, stosunków gospodarczych i handlowych, całej otaczającej nas przyrody i zjawisk świata naszego, jest dla człowieka wykształconego nieodzowna. Rzeczy obce idą po swoich; na ich gruntowne poznanie w miarę potrzeby i zamiłowania miejsce będzie w studyum późniejszem. Szkoła nowa musi być w tym względzie wybitnie narodowa.

Wreszcie nowa szkoła średnia musi zwrócić baczną uwagę na wychowanie młodzieży i wyzyskać wszelkie możliwe środki do zasiania w serca ziarna szlachetnego a dzielnego charakteru. Kształcenie woli w młodzieży, tej najwięcęj zaniedbanej u nas części duszy, tworzyć musi wybitny punkt w programie wychowawczym, obok rozwijania i doskonalenia altruizmu.

Stanąć tedy musi na podstawie moralności chrześcijańskiej — ale tej rzetelnej, która podług Förstera, nie da się nauczyć, ale która polega na kształceniu i ćwiczeniu zdolności i sił, wytwarzających moralny porządek życia, nie na kazaniu o cnotach i ich potrzebie.

Z powyższych rozważań wynika, że żadna dzisiejsza szkoła średnia temu zadaniu nie odpowiada. Musimy sięgnąć po formy nowe.

Szkoła średnia nowa odpowiadałaby mniej więcej klasie I—VI. dzisiejszych szkół gimnazyalnych i realnych, ale z zaokrąglonym programem. Wziąwszy ucznia ze szkoły pospolitej, rozwijałaby go przedewszystkiem obok religii na gruncie języka, geografii i historyi ojczystej tak dalece, że tym przedmiotom przyznaneby było dominujące stanowisko. A że naród nasz musi się liczyć z sąsiadami, stawałaby na drugim planie nauka języka niemieckiego (lub rosyjskiego), a dla utrzymania tradycyi kulturalnej nauka języka łacińskiego; celom praktycznym służyłby

język francuski. Jeżeli do tego dodamy, że matematyka z fizyką i naukami przyrodniczemi tworzyłyby poważną dla siebie grupę, że rysunki musiałyby być obowiązkowe dla wszystkich przez wszystkie klasy — to sądzimy, że suma wiadomości zdobytych w latach sześciu byłaby wcale znaczna a ucznia, który w 16 r. życia taką szkołę z postępem opuści, można by nazwać ogólnie wykształconym[1]).

Taką szkołę ukończywszy mógłby młodzieniec myśleć dopiero o wyborze zawodowego kierunku. Na tej wspólnej podstawie wychowawczej oparte być powinno wszelkie dalsze kształcenie zawodowe (wojskowe, handlowe i t. p.) a ludzie tym zawodom oddani, nie uważaliby się za wyrzutków z gimnazyum, ale za równo wykształconych i równouprawnionych obywateli, przysposobionych do życia należycie.

Naturalnie, że ta szkoła średnia byłaby podstawą i do wykształcenia wyższego, ale pod określonymi warunkami.

I tak: zamiast egzaminu dojrzałości otrzymywaliby uczniowie klasy najwyższej po jej ukończeniu osobne świadectwo, wykazujące nie postęp w poszczególnych przedmiotach nauki, ale dokładną charakterystykę ucznia pod względem moralnym, umysłowym, fizycznym; a więc świadectwo zdrowia, określe-

[1]) Dla objaśnienia podajemy szkic planu, nie przywiązując doń większej wartości w szczegółach, które mogą być zmienione.

Plan liceum sześcioklasowego.

Przedmioty naukowe	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	Razem godzin
Religia. . . .	2	2	2	2	2	2	12
J. polski. . .	6	6	5	5	5	5	32
J. niemiecki (l. rosyjski)	4	4	3	3	3	3	20
J. łaciński . .	—	—	4	4	3	3	14
J. francuski .	—	—	—	3	3	3	9
Historya powszechna .	—	—	3	2	3	[illegible]	11
Geografia . .	3	3	2	2	1	1	12
Nauki przyr. i fizyczne .	2	2	2	2	3	3	14
Matematyka .	3	3	3	3	3	3	18
Kaligrafia . .	1	1	—	—	—	—	2
Razem .	21	21	24	26	26	26	144

Przedmioty naukowe	I.	II	III.	IV.	V.	VI.	Razem godzin
Rysunki i modelowanie .	2	2	3	3	3	3	16
Nauka zręczności (roboty ręczne .	2	2	2	2	2	2	12
Zabawy . . .	6	6	6	6	6	6	36
Śpiew i muz.	2	2	2	2	2	2	12
Razem .	12	12	13	13	13	13	76

113

nie usposobienia, zdolności, zamiłowania do pewnych prac i nauk, słowem taką charakterystykę, zakończoną ogólnym sądem, czy kolegium nauczycieli uważa go za usposobionego (nie przysposobionego lub dojrzałego) do studyów wyższych lub tylko do zawodów praktycznych, aby rodzice mieli wyraźną wskazówkę i conajmniej 16-letniego młodzieńca skierowali na tę drogę życia, która go najpewniej uczyni dla ojczyzny pożytecznym obywatelem. Niewątpliwie spotkałaby się szkoła niejednokrotnie z oporem rodziców, mających daleko sięgające pragnienia i cele, ale na to niema rady; szkoła w każdym razie uczyniłaby swoje (czego obecnie nie czyni), a na ambitnych rodziców byłby jeszcze środek inny.

Uczeń, skwalifikowany w tej nowej szkole średniej, jako usposobiony do studyów wyższych, udaćby się musiał na jakiś kurs przeduniwersytecki trzechletni. Odpowiadałby taki kurs mniej więcej klasie VII. i VIII. obecnych szkół średnich, ale z programem zupełnie odmiennym i nieodzownym rozdziałem na kurs humanistyczny i kurs techniczny[1]).

[1]) **Plan trzechrocznego gimnazyum**

	a) humanistycznego.					b) technicznego.				
	Przedmioty	I.	II.	III.	Razem	Przedmioty	I.	II.	III.	Razem
	Język polski	3	3	3	9		3	3	3	9
wspólne	„ niemiecki (lub rosyjski)	3	3	3	9		3	3	3	9
wspólne	„ francuski	3	3	3	9	lub angielski	3	3	3	9
wspólne	Hist. kultury i socyologia	4	4	4	12		4	4	4	12
	Rysunki	2	2	2	6		2	2	2	6
	Język łaciński	6	6	5	17	1. Matematyka . . .	6	6	5	17
różne	Język grecki	6	6	6	18	2. Fizyka	4	4	4	12
różne	Ćwiczenia prakt. w tych językach	3	3	2	8	3. Chemia z ćwiczeniami	3	3	2	8
różne	Proped. filozof.	—	—	2	2	4. Geom. wykreślna	2	2	2	6
						5. Encykl. nauk. . .	—	—	2	2
	Razem .	30	30	30	90	Razem .	30	30	30	90

Oprócz tego wspólne zabawy i sporty w godz. popołudniowych.

Na tym kursie przedmioty takie, jak język ojczysty, język niemiecki (rosyjski) i francuski — nadto historya kultury z socyologią i rysunki musiałyby być wspólne wszystkim uczniom; oprócz tego na kursie humanistycznym języki klasyczne, na technicznym nauki matematyczno-przyrodnicze zajmowałyby znaczne miejsce w programie. Po ukończeniu tego kursu stosowny egzamin dawałby uczniom świadectwo zdolności do nauk uniwersyteckich lub technicznych, po szczegółowych egzaminach rocznych, decydujących o przejściu na kurs wyższy. Tuby był sposób dla nieuzdolnionych do studyów wyższych, aby ich wstrzymać od uniwersytetu, do którego się nie nadają.

Takie kursa wyższe możnaby nazwać „gimnazyum", a szkołę średnią 6-klasową „liceum". Licea powinny istnieć we wszystkich miastach powiatowych — i to męskie i żeńskie — gimnazya tylko w miastach uniwersyteckich i wyjątkowo w miastach większych mających po kilka liceów. Dla wyższego wykształcenia kobiet służyłyby po liceum bardzo dobrze kursa wyższe na sposób kursów Baranieckiego zorganizowane i mające w nich wzór godny naśladowania.

Jakaż byłaby korzyść z takiej organizacyi nauki szkolnej, jaka jego wyższość ponad stan dzisiejszy?

Najpierw organizacya taka:

1) uwzględniałaby potrzeby narodowe i społeczne, i podniosłaby ogólny stan wykształcenia; 2) ułatwiałaby nabycie średniego wykształcenia wielkiej ilości młodzieży męskiej i żeńskiej; 3) dawałaby przygotowanie wyższe do szkół zawodowych i zawodów praktycznych z prawem służby wojskowej jednorocznej i pozwalała na skrócenie studyów fachowych; 4) daje elem. znajomość łaciny i technikowi; 5) dałaby społeczeństwu przez szkoły zawodowe inteligentnych pracowników, a nie jak dotąd odpadki ze szkół średnich; 6) umożliwiałaby zwrócenie zdolności we właściwym kierunku i we właściwym czasie (lat 16) i należyte ich wyzyskanie dla dobra społeczeństwa; 7) umożliwiałaby różne postępowanie pedagogiczne i różną metodę nauczania z dziećmi 11—16-letnimi, i z młodzieńcami 17—19-letnimi; 8) dopuszczałaby do studyów uniwersyteckich i technicznych tylko siły wyborowe, jednostki naprawdę uzdolnione, i nie wytwarzałaby tak zw. hiperprodukcyi intelligencyi.

Kończę słowami cytowanego już powyżej Paulsena:

114

„Dla jednostki ma największą wartość kształcącą to, do czego ją ciągnie chęć i zamiłowanie; chwila dobrowolnej pracy i z niej wydobytego rozwoju więcej znaczy, niż centnar wiedzy ciężko zdobytej, ale nie przyswojonej. Dążenie do równego wykształcenia, ludzi z natury nierówno uzdolnionych, musi wieść do niedokształcenia, przekształcenia lub półwykształcenia i wytwarzać chorobę społeczną, trudną do uleczenia".

Nad tą nową szkołą musimy tedy pracować usilnie i statecznie; musimy szukać dróg i sposobów, aż je znajdziemy, bo podług słów Konarskiego

Quales sibi format ipsa
Tales habitura res est
Publica cives.

„jakich sobie obywateli wykształci rzeczpospolita, takich mieć będzie w przyszłości".

*

Prezes Stowarzyszenia nauczycielstwa polskiego (Warszawa) Józef Stypiński: „Nauczycielstwo polskie w Królestwie".

W końcu siódmego dziesiątka lat ubiegłego stulecia wprowadzono w szkołach średnich Królestwa Polskiego język rosyjski, jako wykładowy. Od tej chwili aż do roku 1905 nauczanie dziatwy w języku ojczystym mogło odbywać się tylko potajemnie.

Ze szkoły państwowej systematycznie usuwano dawnych nauczycieli polaków, zastępując ich rosyanami; doszło do tego, iż w ostatnich kilkunastu latach przed r. 1905 nauczycieli polaków w szkołach rządowych prawie nie było.

Nauczyciele polacy pracowali w nielicznych szkołach prywatnych bez praw (przeważnie żeńskich) lub w tak zwanych kompletach t. j. potajemnych przenośnych szkołach polskich. Gdy od r. 1896 pod zarządem ministeryum przemysłu i handlu zaczęły powstawać 7-o klasowe prywatne szkoły handlowe z prawami rządowemi, zakładane przez zgromadzenia kupieckie, wobec braku nauczycieli rosyan zaczęli posady nauczycielskie obejmować polacy.

Nieliczna garstka nauczycielstwa polskiego w Warszawie skupiała się przy redakcyi „Przeglądu pedagogicznego", założonego w roku 1882, a następnie w szczupłym lokalu powstałej

w kilkanaście lat później „Kasy oszczędnościowo-zapomogowej nauczycielskiej".

Wywalczone w r. 1905 prawo tworzenia szkół polskich wywołało w społeczeństwie ogromny ruch w tym kierunku, zwiększyło znacznie zastępy nauczycielstwa polskiego i postawiło przed niem szereg zagadnień, które domagały się rozwiązania. 9. grudnia 1905 r. nauczycielstwo warszawskie przy udziale 145 osób postanowiło zorganizować się w „Stowarzyszenie Nauczycielstwa Polskiego". Artykuł pierwszy opracowanego statutu Stowarzyszenia brzmi, jak następuje:

„Zważywszy, że tylko przy odpowiedniem przygotowaniu i organizacyi nauczycielstwo polskie może spełnić wielkie zadanie narodowego wychowania i kształcenia młodzieży, Stowarzyszenie ma na celu:

1. Doskonalenie i rozwój sił nauczycielskich pod względem obywatelskim, pedagogicznym i naukowym;

2. Wzajemną pomoc Stowarzyszonych tak moralną, jak i materyalną;

3. Zabezpieczenie interesów ekonomicznych i obronę prawną Stowarzyszonych.

Od grudnia 1905 r. do 20. czerwca 1906 r. Stow. istniało i pracowało tajnie. Od d. 20. czerwca 1906 r. rozpoczęła się jawna działalność Stowarzyszenia.

Dla zobrazowania liczebnego rozwoju Stowarzyszenia pozwolę sobie przytoczyć kilka dat.

Organizacyjne zebranie Stow. liczyło 145 uczestników; 1. I. 1907 należało do Stow. 564 członków, w rok później w Warszawie i w oddziałach 685 czł. W latach następnych liczba członków stale maleje tak, iż na dniu 1. I. 1912 r. Stow. liczy 599 członków. Od następnego roku jednak już liczebność zaczyna wzrastać i wzrost ten jest do dziś zjawiskiem stałem. Obecnie Stow. liczy około 2000 członków, z czego połowa należy do Centrali Warszawskiej, druga zaś połowa grupuje się w 15 oddziałach prowincyonalnych. — Bilans Stowarzyszenia za r. 1916 t. j. jedenasty od chwili powstania wynosił po stronie czynnej 30247 rb. 88 kop. i tyleż po stronie biernej.

Rok 1905 był przełomowym w dziejach szkolnictwa w Król. polskiem. Prywatna szkoła polska stała się powszechnym zakładem naukowym. Jednocześnie rozpoczęła się praca, mająca

115

na celu postawienie odrodzonego szkolnictwa polskiego na mocnych, trwałych fundamentach. W pracy tej nauczycielstwo odegrało rolę kierowniczą a Stow. Naucz. P. było terenem, na którym omawiano, przygotowywano i przyoblekano w ostateczną formę projekty reform, plany i programy.

Intensywna praca prowadzona była w licznych stałych sekcyach i ad hoc wybieranych komisyach. Istniejące stałe sekcye: 1) wychowawcza, 2) jęz. polskiego i literatury, 3) historyczna, 4) geograficzna, 5) przyrodnicza, 6) matematyczno-fizyczna, 7) jęz. starożytnych, 8) jęz. nowożytnych, 9) rysunkowa, 10) gimnastyczna, 11) muzyczna i 12) nauczania początkowego nakreśliły sobie szeroki plan działania, mający na celu:

1-o podniesienie poziomu naukowego szkół polskich przez:

a) opracowanie programów poszczególnych przedmiotów,

b) ulepszanie metod nauczania,

c) ocenę istniejących i rękopisów nowych podręczników.

2-o Rozszerzenie i pogłębienie umysłowych horyzontów nauczycielstwa oraz przygotowanie pedagogiczne przez:

a) odczyty i referaty naukowe,

b) systematyczne kursy,

c) wydawnictwa z zakresu metodyki i pedagogii.

W zależności od mniej lub więcej pomyślnych warunków, w których znajdowało się szkolnictwo polskie, mniej lub więcej intensywniej pracowały poszczególne sekcye Stow., gdyż aktualność zagadnień i zadań wpływać musiała na stopień zainteresowania się niemi naszych sfer nauczycielskich. Tak więc sekcye historyczna i geograficzna zaczęły zanikać po usunięciu przez władzę osób „pochodzenia polskiego“ od nauczania tych przedmiotów i wprowadzeniu do nich języka rosyjskiego, jako wykładowego. Odrodziły się one dopiero w latach ostatnich dzięki nowej zmianie warunków. Normalnie i bez wielkich wahań pracowały inne sekcye, działalność ich odbiła się na zewnątrz w programach i wydawnictwach, wewnątrz zaś szkoły wpłynęła w znacznej mierze na podniesienie poziomu nauczania.

W przedwojennej pracy Stowarzyszenia należy rozróżnić dwa okresy: jeden t. zw. wolnościowy, trwający bardzo krótko bo tylko do końca 1907 r. i drugi, okres powracającej reakcyi

politycznej rosyjskiej. W okresie pierwszym prace podejmowane przez Stow. dla zbudowania szkoły polskiej mogły być prowadzone publicznie i głośno; okres drugi jest okresem pracy wewnętrznej, nie efektownej, budującej zwolna, lecz wytrwale to, co w innych szczęśliwszych warunkach dałoby się uczynić prędzej i kosztem znacznie mniejszych wysiłków.

Do okresu pierwszego należą dwa Zjazdy, urządzone w r. 1907: Pierwszy Zjazd przyrodników i geografów w Warszawie wpłynął decydująco i przełomowo na sprawę wykładu nauk przyrodniczych i geografii w szkole polskiej. Dzięki pracom tego Zjazdu naukom przyrodniczym i geografii wyznaczono w szkołach polskich właściwe miejsce a, co może bardziej jeszcze podkreślić należy, w nauczaniu tych przedmiotów zastosowano nowe metody, które miały na celu wprowadzenie ucznia w czynny stosunek do nauki, do czego dziś dopiero po upływie lat 10 nawołują wszyscy pedagogowie.

Rezultatem prac drugiego Zjazdu „Historyków i Filologów“ było należyte podniesienie poziomu nauczania języka polskiego i literatury oraz historyi powszechnej i Polski. — Na proponowany przez Stow. Zjazd ogólno-wychowawczy nie można już było uzyskać pozwolenia władz.

Dla ułatwienia pracy sekcyom i poszczególnym członkom Stowarzyszenie zapoczątkowało i stale kompletuje własną bibliotekę, liczącą dzisiaj koło 4000 dzieł, uwzględniając szczególnie dział pedagogiczny;

prowadzi własne pisma pedagogiczne: 1) „Przegląd Pedagogiczny“, który po przejściu w r. 1905 na własność Stowarzyszenia wychodził w Warszawie pod tytułami „Szkoła polska“, „Sprawy szkolne“ i „Wychowanie w domu i szkole“ a obecnie wraca do swego dawnego tytułu, oraz już w czasie wojny w Lublinie — dwutygodnik pedagogiczny „Szkoła polska“;

wydaje „Książnicę wychowawczą“ (dotąd wyszło dzieł 12),

wysyła swych członków na studya zagranicę itd.

Czyniąc zadość punktom 2 i 3 artykułu I. swego statutu, Stow. prowadzi biuro pośrednictwa pracy, opracowało warunki umów między nauczycielami i szkołami, posiada Komisyę rozjemczą do załatwiania nieporozumień na tle tych umów wynikłych i t. d.

Wybuch wojny i związany z nim kryzys finansowy postawił szkolnictwo polskie, jako prywatne, w położenie bardzo

116

trudne. Zdawało się, iż to co z takim mozołem budowano od r. 1905, będzie musiało runąć. Zorganizowane w Stowarzyszeniu nauczycielstwo zrozumiało niebezpieczeństwo i postanowiło za wszelką cenę uruchomić szkolnictwo polskie; dopięło swego celu, ponosząc dobrowolnie bardzo ciężkie ofiary materyalne.

Jednocześnie Stowarzyszenie rozumiało, iż wybuch wojny musi sprowadzić radykalne zmiany w dotychczasowych warunkach naszego życia narodowego i że w niedalekiej może przyszłości sami będziemy musieli ująć w ręce organizacyę i ster szkolnictwa.

Na jesieni 1914 r. utworzyliśmy 2 tajne instytucye: Delegacyę Szkolną, mającą kierować sprawami szkolnemi w chwili bieżącej i Komisyę Pedagogiczną, która postawiła sobie jako cel opracowanie zasad organizacyi szkolnictwa w niepodległej Polsce.

Wkrótce bieg wypadków dziejowych stwierdził, że inicyatywa ta była jaknajbardziej wskazana i że konieczną było rzeczą przygotowanie nauczycielstwa do spełnienia nowych zadań, związanych z poważnemi zmianami, jakie zaszły w naszem szkolnictwie.

Według *planu Komisyi Pedagogicznej* szkolnictwo powinno być trzystopniowe.

Stopień pierwszy: Szkoła powszechna siedmioletnia ogólno-kształcąca, obowiązkowa dla wszystkich dzieci od 7 do 14 lat wieku.

Stopień drugi: a) Szkoła średnia ogólno-kształcąca z kursem czteroletnim,

b) Szkoły zawodowe różnych typów (od 14 do 18 lat).

Stopień trzeci: Akademie (uniwersytety, politechniki, instytuty i t. p.).

Do chwili obecnej Kom. Pedag. opracowała całkowicie projekt szkoły powszechnej, drukowany w miesięczniku „Wychowanie w domu i szkole“ w 1915 r. (kwiecień — maj oraz sierpień, wrzesień, październik).

W projekcie tym uwzględniono przedewszystkiem zadania wychowawcze *szkoły narodowej* w Polsce, stopnie i rodzaje szkół w Polsce — wreszcie opracowano program szkoły powszechnej. Obecnie Kom. Pedag. przystępuje do druku projektu organizacyi szkoły średniej ogólnokształcącej.

W tem miejscu podkreślić muszę dwie kwestye, uważane przez Kom. Pedag. za pierwszorzędne: 1) w programie szkoły powszechnej położenie wielkiego nacisku na pracę ręczną oraz 2) wprowadzenie do programu nauk zarówno w szkole powszechnej jak i w średniej nowego przedmiotu, nazwanego przez nas „Nauką o Polsce współczesnej".

Niezależnie od tej pracy natury bardziej teoretycznej Kom. Pedagogiczna zmuszona była, ulegając konieczności i wymaganiom chwili, opracować „Program tymczasowy dla 5-cio oddziałowej szkoły początkowej" obecnie istniejącej. „Program tymczasowy" zawiera programy poszczególnych przedmiotów, wskazówki metodyczne oraz wykazy podręczników. Program ten przez Wydział Szkolny Zarządu m. st. Warszawy został wprowadzony do wszystkich szkół początkowych miejskich w Warszawie. Obecnie Kom. Pedag. układa dalszy ciąg „programu tymczasowego" dla oddziałów VI. i VII. szkoły początkowej.

Komisya Pedagogiczna nie pozostaje wprawdzie w oficyalnej łączności z Departamentem Wyznań i Oświecenia Publicznego Tymczasowej Rady Stanu i z Wydziałem Szkolnym zarządu miasta, faktycznie jednak członkowie Kom. Pedag., będąc czynnymi w powyżej wymienionych instytucyach, utrzymują pomiędzy nimi ideową łączność.

Ustąpienie rosyan z Królestwa z konieczności pociągnęło za sobą zamknięcie wszystkich rządowych szkół średnich. Obecnie z wyjątkiem paru szkół rządowych, otwartych przez władze austryackie, całe szkolnictwo średnie jest prywatne. Przy silnym współudziale zorganizowanego w Stowarzyszeniu nauczycielstwa zaczęły na terenie Królestwa powstawać miejscowe organizacye, mające na celu ujęcie steru spraw szkolnych w danej okolicy. Powstała tak „Komisya Szkolna Ziemi Radomskiej", „Płocka Rada Szkolna", „Komisya Szkolna we Włocławku" „Centralne Biuro Szkolne w Piotrkowie" i t. d.

W Warszawie w d. 5. sierpnia 1915 r. zawiązany został Wydział Oświecenia K. Ob.; za zadanie swe Wydział uznał:

1. Utrzymanie szkół i ognisk oświatowych, ich ulepszanie i zapewnienie im rozwoju.

2. Rozciągnięcie opieki społecznej nad wszystkiemi szkołami i ogniskami oświatowemi.

3. Pobudzanie jaknajszerszych mas i zrzeszeń społecznych do pracy nad podniesieniem oświaty, szkolnictwa i nauki; skupianie tych prac i zamierzeń w określonym kierunku.

Z chwilą powstania Wydziału Oświecenia, mającego w swem gronie urzędowych przedstawicieli Stowarzyszenia Polsk. Zw. Naucz. i Tow. Naucz. Szkół początkowych poddaliśmy się kierownictwu Wydziału i dostarczyliśmy mu zastępu swych członków jako kwalifikowanych pracowników. Po rozwiązaniu Wydziału Oświecenia w d. 17. lutego 1916 r. inicyatywa w sprawach szkolnych przechodzi znowuż do nauczycielstwa.

Stowarzyszenie Naucz. P. i Polski Związek Naucz. opracowują statut „Delegacyi Egzaminacyjnej“ powołanej do przeprowadzenia egzaminów maturalnych w szkołach polskich okupacyi niemieckiej; powołują Komisyę, złożoną z członków Stow. Związku, Tow. Naucz. pocz. i przedstawicieli innych instytucyi społecznych do opracowania statutu „Komisyi Oświecenia publicznego“, mającej działać na terenie całej okupacyi niemieckiej; łącznie z temiż instytucyami zabiegają, acz bezskutecznie, o zatwierdzenie tego statutu; Stowarzyszenie zwalcza proponowany przez władze okupacyjne projekt „Rady Szkolnej Krajowej“, urządza w styczniu r. b. wielki Zjazd nauczycielski pod hasłem wychowania narodowego, opracowuje dla natychmiastowego użytku w szkołach miejskich wspomniany wyżej „program tymczasowy i t. d. i t. d.

Zmienione warunki polityczne oraz konieczność stałej współpracy nad aktualnemi zagadnieniami chwili, pouczyły ogół nauczycielstwa szkół średnich o potrzebie tworzenia tylko jednej ale silnej organizacyi.

Bliższe zetknięcie się przy realnej pracy wykazało, iż różnice, które w okresie rewolucyi wywołały powstanie dwóch organizacyi nauczycielskich tak się zatarły, że nic nie stoi na przeszkodzie do ich połączenia.

Po załatwieniu szeregu wstępnych formalności ostateczne połączenie pod firmą „Stowarzyszenia Nauczycielstwa Polskiego“ nastąpiło w d. 2. stycznia r. b.

*

Prof. Konrad Chmielewski (Warszawa)
przedstawił i objaśnił wspomniany w poprzednim przemówieniu „Program nauki o Polsce współczesnej“:

1. Położenie gieograficzne ziem polskich w pniu lądowym Europy. Znaczenie tego położenia. Poglądy Romera i Nałkowskiego. Mapa gieograficzna Polski współczesnej. Ukształtowanie pionowe i poziome. Rozsiedlenie organizmów. Granice etnograficzne, historyczne i polityczne. Linje dyfuzyi. Wpływy wschodnie, zachodnie i południowe.

2. Zarys rozwoju wypadków historycznych, kształtujących Polskę współczesną — jako jednostkę polityczną. Osobowość Polski w gromadzie europejskiej. Udział polaków w pracy cywilizacyjnej Europy. Wpływy Złotej epoki. Idea Jagiellońska. Konstytucya 3-go Maja.

3. Bogactwa przyrodzone ziem polskich, Kopaliny. Zbiorowiska roślinne. Zwierzęta użyteczne. Ziemia rodzajna.

4. Drogi i komunikacye. Rzeki — ich spławność i zdatność do żeglugi. Stare drogi królewskie, trakty pocztowe, historyczne szlaki handlowe. Wyłamy — bramy — porty. Szlaki kolonizacyjne (cywilizacyjne) i łupieskie. Drogi bite. Koleje żelazne. Gwiazdy dróg i kolei żelaznych. Stosunek ich do drogi Władywostok-Lizbona.

5. Człowiek. Jego rozsiedlenie. Ilość polaków na ziemiach rdzennych polskich. Odsetek w poszczególnych ziemiach i krainach. Klasyfikacye etnograficzne polskie. Wychodźctwo i kolonizacya. Ośrodki zagrożone. Stany i kasty polskie. Stosunek jednostki do państwa. Ustrój społeczny polski. Pojęcie obywatelstwa i obowiązków względem kraju.

6. Posiadanie ziemi w Polsce przez polaków. Własność drobna — wiejska i miejska; obszarnicy, własność średnia, własność państwowa i rządowa. Nadania. Majoraty. Dobra poduchowne. Kolonizacya obca.

7. Rolnictwo i rozwój jego oddzielnych gałęzi (pszenica, buraki, żyto, kartofle, owies, chmiel). Leśnictwo, ogrodnictwo, sadownictwo. Własność gleby oddzielnych części Polski. Sprawy agrarne w ogólnym zarysie. Produkcya rolna i wyżywienie ludności, braki i nadwyżki.

8. Hodowla zwierząt domowych — jej rozmieszczenie na ziemiach polskich. Jarmarki. Produkcya mięsa i skór. Pszczelarstwo.

9. Stan przemysłu polskiego. Najogólniejsze dane gieograficzne i statystyczne ośrodków przemysłu górniczego, hutniczego, drzewnego, włóknistego, garbarskiego, metalowego i innych. Przemysł wielki i drobny. Przemysł ludowy. Kooperatywa miejska i wiejska.

10. Handel polski. Przywóz i wywóz towarów surowych i przerobionych w cyfrach. Klasyfikacya tych cyfr.

11. Moneta. Kapitały i długi państwowe. Papiery polskie. Banki. Kredyt. Instytucye finansowe polskie. Historya ich rozwoju w XIX. stuleciu. Bank polski i jego znaczenie dla kraju. Sylwetki Lubeckiego i Steinkelera.

12. Oświata narodowa. Szkoły początkowe, powszechne, średnie, zawodowe. Wszechnice. Towarzystwa naukowe i oświatowe. Zbiory. Książnice. Muzea. Skarbnice. Ruch naukowy polski i jego ośrodki. Kultura polska i sztuka. Budownictwo polskie i jego zabytki.

13. Organizacye społeczne polskie. Instytucye społeczne i dobroczynne. Ich charakter i wpływ na stosunki. Przyczyny przerostu, nad-

118

miaru i zróżniczkowania. Twórczość polska w rozmaitych dziedzinach życia narodowego.

14. Państwowość polska. Konstytucye. Ustawy. Prawa. Rząd i administracya. Stanowisko, zadanie i praca urzędników polskich. Ukształtowanie sądownictwa. Sądy.

15. Rozwój myśli politycznej polskiej. Stronnictwa i organizacye polityczne. Piśmiennictwo.

II. Dyskusya i wnioski.

Aleksander Jaworski (Kraków). Nawiązując dyskusyę do projektu przyszłej szkoły polskiej według referatu r. Zawilińskiego, stwierdzić należy przedewszystkiem, że rzecz idzie o konstrukcyę szkoły wychowawczej, a nie o szkołę przygotowującą do czegoś ściślej określonego. Szkoła wychowawcza jest celem sama w sobie. Zadaniem jej jest stworzyć podstawę ogólno ludzką, z której mogą wyrastać rozmaite gałęzie pracy kulturalnej. Jest to szkoła człowieka (Rousseau, Pestalozzi), a treścią jej παιδεία, a nie ἐπιστήμη τοῦ πράγματος — jak powiedział Aristoteles. A że każdy powinien być wychowany na człowieka, więc powinna istnieć jedna jednolita szkoła wychowawcza dla wszystkich dzieci, wychowywać je i kształcić równomiernie i progresywnie od dzieciństwa do dojrzałości psychicznej według wskazań psychologii, etyki i współczesnego stanu wiedzy i kultury ludzkiej. — Tego żąda teoretyczna pedagogika; taką też szkołę pragnie mieć socyalna demokracya w swem przyszłem idealnym państwie. — Systematyczny ustrój szkolny zbudowany na zasadzie wyłącznie pedagogicznej istnieje jednak tylko w teoryi i w dziełach pedagogicznych. Teoryi sprzeciwia się życie i rozwój historyczny, które dowodzą potrzeby podziału jednolitej szkoły wychowawczej i ukształtowania jej zgodnie z rozwojem prądów kultury narodowej. Jak długo pozostajemy na gruncie rzeczywistości, która wykazuje zasadniczą różnicę klas i głów pracujących, tak długo podział szkoły wychowawczej nie da się usunąć. Troska jest tylko o to, jak stworzyć kompromis między pedagogiką a socyologią, jak uprościć system szkolny i ugrupować szkoły na linii możliwie najmniej przerywanej. Różniczkowanie szkół wychowawczych na zasadzie socyologicznego podziału pracy mogłoby nie mieć końca i doprowadzićby musiało do przemiany ich z wychowawczych na zawodowe.

Kompromis pedagogiki z socyologią polegać musi na tem, aby pedagogika z konieczności zrezygnowała z postulatu bezwzględnie jednolitej szkoły dla wszystkich, bo to jest postulat praktycznie niewykonalny a społecznie zbędny, socyologia zaś, aby ograniczyła do najistotniejszej potrzeby żądanie podziału szkół na zasadzie podziału pracy.

Tak, jak dziś sprawy stoją i długo jeszcze stać będą, społeczeństwo dzieli się na trzy wielkie grupy pracujących klas; są to zawody niższe, średnie i wyższe. Wynika stąd, że bez względu na nowe po-

rządki społeczne i nowe ukształtowanie wiedzy ostać się musi trójdzielny system szkolny, który zawiera:

1) Powszechną szkołę początkową rozwiązującą problem oświaty w miarę sił społeczeństwa i państwa;

2) Powszechną szkołę średnią dającą wykształcenie zaokrąglone tym, co w 15—16 roku życia pragną przejść do szkół lub zawodów praktycznych;

3. Szkołę wyższą zaprawiającą do poważnej i samodzielnej pracy naukowej.

Koroną wykształcenia jest szkoła główna (uniwersytet, politechnika), ale nie jako szkoła wychowawcza, bo istota jej leży w wolności i ściśle badawczym charakterze nauki.

Te trzy szkoły, początkowa, średnia i wyższa muszą być organicznie powiązane, następować po sobie według jednolitego planu konstrukcyi wewnętrznej, choćby dla przyczyn zewnętrznych były rozdzielone przestrzennie. Szkołę początkową powinna posiadać każda gmina, szkołę średnią gmina licząca kilka tysięcy mieszkańców, szkołę wyższą gmina o kilkudziesięciu tysiącach mieszkańców.

Projekt referenta zasadę tę uwzględnił i tem korzystnie różni się od wadliwej organizacyi szkolnej austryackiej, niemieckiej (9 typów!), włoskiej, francuskiej i kilku mniejszych państw, które wszystkie stoją u progu przebudowy swego szkolnictwa. Zbliża się zaś do prawidłowego ustroju w Norwegii, Szwecyi, Danii, Szkocyi, Holandyi, Grecyi, Bułgaryi, Stanach Zjednoczonych i Japonii; także angielski ustrój, zewnętrznie tak różny od kontynentalnego, oparty jest na jednolitej i ciągłej myśli wychowawczej. (Tu mowca zwraca uwagę na swoją tabelę poglądową dla porównania wszystkich form szkolnych istniejących w świecie kulturalnym.)

Rodzimych wzorów rozwoju szkolnictwa brak nam: ustrój Komisyi Edukacyjnej (szkoły parafialne, podwydziałowe, wydziałowe) ani nie miał czasu wartości swej wykazać, ani nie odpowiada współczesnym założeniom; prywatne zaś szkolnictwo w Królestwie rozwijało się raczej w różnych kierunkach praktycznej potrzeby i względów oportunistycznych, niż na linii jednej myśli przewodniej. Dziś dopiero myśl taka wyłania się w Warszawie, a nieogłoszony jeszcze projekt departamentu Oświecenia w Radzie Stanu będzie — jak słychać — jeszcze więcej zgodny z założeniem pedagogicznem, niż projekt referenta.

Według projektu referenta, po czteroletniej szkole początkowej następuje sześcioletnie liceum jako szkoła powszechna z łaciną od III. klasy, a na tem buduje się trzyletnia szkoła wyższa jako gimnazyum dwudzielne, humanistyczne i realistyczne. Pedagogicznie nic temu projektowi zarzucić nie można, bo pedagogika nie rozstrzyga ani o czasie trwania nauki, ani o podstawowym kierunku kształcenia, byleby cel został osiągnięty. Ale ze stanowiska potrzeb i wskazań społecznych można nad projektem dyskutować. Nasuwają się tu trzy wątpliwości:

1. Czy sześcioletni okres nauki w szkole powszechnej (liceum) nie jest za długi?

119

2. Czy w takiej szkole powszechnej potrzebny jest język łaciński?
3. Czy trzyletni okres nauki w gimnazyum wystarczy do wykształcenia wyższego i czy podział gimnazyum na humanistyczne i realistyczne jest dostatecznie uzasadniony?

Sześcioletnie liceum nie jest za długie, jeżeli prowadzi do dalszego kształcenia się w jakiejkolwiek innej szkole, bo przez to samo skraca się ten następujący okres szkolny; kwestya tylko, czy n. p. szkoła przemysłowa mogłaby uporać się ze swym właściwym materyałem technicznym w 2—3 latach, choćby jej ubyły z programu przedmioty ogólno kształcące. Natomiast bezwzględnie za długie jest sześcioletnie liceum, jeżeli uczeń pragnie tylko osiągnąć wiek ustawowy (u nas skończonych lat 14) i wstąpić do praktyki zawodowej. Dla takich uczniów musiałaby czwarta klasa liceum już zaokrąglić program wykształcenia, bo to sprowadziłoby rozerwanie jednolitego planu konstrukcyjnego. Siedmnasty rok życia zaś wydaje się wysoce spóźnionym dla rozpoczynania praktyki zawodowej.

Pytamy dalej, czy język łaciński jest koniecznie potrzebny do wykształcenia średnich klas pracujących. — Oczywiście, że łacina jest organem poznania kultury starożytnej, z której wyrosła nowożytna kultura zachodnio europejska; prawda i to, że dla nas szczególniej niemożliwe byłoby zrozumienia narodowej kultury bez wniknięcia w przeszłość, gdzie do końca 18. wieku łacina była drugim językiem ojczystym; zaprzeczyć nie można, że łacina ma dziś jeszcze zastosowanie w niektórych zawodach, choć wolelibyśmy, aby medycyna i aptekarstwo spolszczyły się raczej, niżby one nas zniewalać miały do uczenia się po łacinie.

Mimo to wszystko trudno dać się przekonać, aby średnie klasy pracujące łaciny tak naprawdę potrzebowały. Argumenty za łaciną są uzasadnione, ale w odniesieniu do zawodów wyższych i pracy naukowej. W szkole powszechuej obronić jej niepodobna; nigdzie też nie spotykamy jej w szkołach analogicznego typu, nawet w państwach o ludności romańskiej. Zgodzićby się na nią można jako na przedmiot względnie obowiązkowy dla tych, co pragną przejść z liceum do gimnazyum.

Trzechletnie gimnazyum zbudowane na programie licealnym projektu wystarcza zupełnie do osiągnięcia ostatecznego celu, którym jest przysposobienie do naukowego, metodycznego ujmowania i rozwiązywania zasadniczych problemów zachodzących wśród zjawisk świata wewnętrzoego i zewnętrznego, ducha i natury. Tem bardziej okres ten wystarczy, że do gimnazyum przychodzi młodzież w 17. r. życia a więc psychicznie dojrzała i po przesileniu pubertywnem. (Por. Dania, Norwegia, Szkocya, Japonia).

Bifurkacya na gimnazyum h u m a n i s t y c z n e i r e a l i s t y c z n e jest podziałem naturalnym i odpowiada istocie obu kierunków wyższego wykształcenia więcej niż nazwy: gimn. klasyczne i nowożytne czy realne. Dziś nie przeciwstawia się już pojęć: starożytny — nowożytny, albo klasyczny — realny. Historya rozwoju szkół wyższych wykazuje dowodnie, jak gimnazyum w ciągu 19. wieku modernizowało się co kilka

dziesiątek lat. Uczyło ono najpierw łaciny (greka jest nowszym nabytkiem) dla władania nią, później jako organu do poznania starożytnej kultury, wreszcie i kultura ta przestała być celem, stając się tylko środkiem do interpretowania kultury współczesnej. Także wykształcenie realistyczne doskonaliło się nieustannie w drugiej połowie ubiegłego wieku, a szkoła realna przeszła ewolucyę od szkoły niemal praktycznej do wychowawczej i kształcącej również w zasadach współczesnej kultury. Ostateczne cele gimnazyum i szkoły realnej są te same, a tylko drogi ich kształcenia i metody odmienne. Jak długo zjawiska świata ujmować będziemy dwoiście — jako duch i materyę tak długo do poznania tych zjawisk prowadzić muszą dwie drogi t. j. studyum duchowo-naukowe i przyrodniczo-naukowe. Duch wyraża się w mowie i dziełach sztuki, natura w liczbie, mierze i wadze. Oto podstawy wykształcenia humanistycznego i realistycznego, albo — co na jedno wyjdzie — duchowego i przyrodniczego.

Szkoły wyższe będą dalej się modernizowały. Gimnazyum wyzbędzie się greki niewątpliwie, bo już dziś brak przekonywującego argumentu na jej zatrzymanie; ograniczy może studyum łaciny do praktycznej potrzeby; wglądnie zapewne głębiej w zjawiska przyrody; ale mimo to nie przestanie być szkołą humanistycznego wykształcenia. Przyjmie jednak inne, niż starożytność, lepsze może źródła kultury duchowej i idealizmu. Co było dobrego w starożytnym idealiźmie, to już wsiąkło w nas; a przecież trzy najszczytniejsze idee: ludzkość, prawda, prawo, tak bardzo jeszcze są odległe od współczesnej kultury. Szkoła przyszłości znajdzie źródła humanistycznego wychowania we własnej historyi, literaturze i kulturze, w idei narodowej, w etyce chrześcijańskiej.

Także wykształcenie realistyczne będzie się modernizowało; ono silniej zaakcentuje pierwiastki kultury duchowej; może przyjmie nawet łacinę dla przyczyn zewnętrznych; ale mimo to zatrzyma charakter przyrodniczo-naukowy i zaprawiać będzie do samodzielnego oryentowania się w prawach matematyki, fizyki, chemii.

Dla obu kierunków cel i treść wychowania i wykształcenia wspólne, — drogi i metody oddzielne.

Tak należy ująć problem organizacyi przyszłej szkoły polskiej i tak interpretować projekt r. Zawilińskiego, który w szczegółach wykonania dopuszcza modyfikacye tu wskazane, z wyjątkiem skrócenia sześcioletniego liceum. A jednak i w tym względzie musiałby uledz modyfikacyi, gdyby się go urzeczywistnić chciało. Z zastrzeżeniem więc zmian koniecznych dla przyczyn społecznych można ten projekt przyjąć za podstawę dyskusyi nad budową nowej szkoły.

Wniosek wyłaniający się z uwag powyższych brzmi tak:

Zjazd T. N. S. W. uznaje, że przyszła polska szkoła wychowawcza powinna zachować możliwie jednolitą i ciągłą linię wychowania i wykształcenia od dzieciństwa do dojrzałości psychicznej; że po czteroletniej, powszechnej szkole początkowej następować powinna jako jej przedłużenie 4—6 letnia powszechna szkoła

120

średnia (liceum); że zakończeniem wykształcenia i wychowania powinna być 3—4 letnia szkoła wyższa, jako gimnazyum dwudzielne: humanistyczne i realistyczne.

Skoczylas (Lwów). Nawiązuję do referatu kol. Kielskiego. To, co kol. Kielski skreślił jako cel szkoły średniej, t. j. nabycie wiedzy o kulturze w ogólności, a wiedzy o sprawach polskich w szczególności — nie wydaje mi się trafnem ani uzasadnionem. Celem wszelkiego wychowania pozostanie na zawsze to, co komisya Edukacyjna ujęła w świetną formułę: Trzeba tak wychowywać młodzież, aby jej było dobrze ze społeczeństwem i społeczeństwu z nią". Niema potrzeby silić się na inne pomysły o celu wychowania. Zadaniem wszelkiego zdrowego wychowania jest rozwijanie sił żywotnych młodego pokolenia, nie zaś narzucanie mu z góry celów, nie wynikających z jego potrzeb i interesów. Jeżeli zaś idzie o sprawę rozwijania sił żywotnych młodego pokolenia, to uważam, że w tym kierunku referat kol. Kielskiego zawiera poważne luki. Pozwolę je sobie uzupełnić.

Jak rozwinąć energię duchową młodzieży polskiej, co wziąć za podstawę tych ćwiczeń? Oto główne zagadnienie szkoły narodowej polskiej.

Rozwiązanie tego zagadnienia nie wydaje mi się możliwe na tle dzisiejszego ustroju szkolnego. Współczesny ustrój szkolny cierpi na wielostronność przedmiotów, którym brak wewnętrznej jedności. To też wytwarza on ludzi o powierzchownem wykształceniu, ludzi przeuczonych, którzy nieraz więcej szkodzą społeczeństwu niż ludzie niedouczeni, a przytem ludzi rozproszonych, niezdolnych do skupienia się i do wysiłku woli w większym stylu. W ostatnich czasach daje się zauważyć w naszych stosunkach pewna zmiana na lepsze. Zmianę tę zainicyowała Rada Szkolna Krajowa pod hasłem: „Non multa, sed multum". Zasada ta głębiej zrozumiana i zastosowana może wpłynąć na znaczne złagodzenie ujemnych stron naszej szkoły średniej. Ale to jeszcze nie wszystko. Szkole tej brak niejako kręgosłupa, na którym wspierałyby się wszystkie przedmioty.

Zdaje sobie z tego sprawę taki Foerster i chcąc stworzyć wewnętrzną jedność w szkole dzisiejszej, radzi zaprowadzić przedmiot nowy t. zw. „naukę o życiu", niejako wykład o powinnościach i obowiązkach, któryby opierał się na przykładach wziętych z różnych dziedzin i był stosowany przy wszystkich przedmiotach. Pomysł to doskonały, ale nie oryginalny. Urzeczywistniła go kiedyś z wyśmienitym rezultatem Komisya Edukacyjna. Niestety — zbyt mało znamy i czytamy: „Ustawy Komisyi Edukacyjnej" ulegamy zbytniej suggestyi zagranicy i dlatego nie umiemy korzystać z nauki przyszłości.

A właśnie, jeśli kiedy, to dziś właśnie, gdy, jak wspomniał p. rektor Szajnocha, doczekaliśmy się zupełnego upadku etyki, gdy prawo międzynarodowe okazało się bezsilne, musimy naszą szkołę narodową oprzeć o silne podstawy etyczne.

Jest to pierwszorzędny postulat narodowy. Wprowadźmy więc za przykładem Komisyi Edukacyjnej, „naukę moralną", naukę moralności

przyrodzonej, która będzie nauką osiową w całym systemie nauk udzielanych w szkole średniej, bo wchodzącą we wszystkie przedmioty objęte programem nauki. — Taki przedmiot potrzebny jest szczególniej w Polsce, w społeczeństwie katolickiem, które skłonne jest do lekceważenia wszelkiej moralności przyrodzonej, jak znów społeczeństwa niekatolickie skłonne lekceważyć moralność o nadprzyrodzone pobudki opierającą się.

Obok tej nauki moralnej należałoby poszukać drugiego jeszcze czynnika spajającego rozrzucone przedmioty. Należałoby go poszukać w nauce o prawach obywatelskich. I ten przedmiot znała i wprowadziła Komisya Edukacyjna. W referacie warszawskim widzę tę naukę wcieloną w tak zwaną „naukę o Polsce“ czyli jak Niemcy nazywają ten przedmiot: „Heimatskunde“. Możnaby się na to zgodzić, ale z pewną poprawką, że mianowicie „nauka o Polsce“ nie byłaby przedmiotem kończącym tylko i koronującym wiedzę w najwyższej klasie, ale istniałaby na wszystkich stopniach nauki szkoły średniej, odpowiednio rozłożona. Nie łudźmy się jednak, że wprowadzenie takiej „nauki o Polsce“ samo przez się unarodowi szkołę. Żaden przedmiot — nie wiedzieć jak patryotyczny — sam z siebie unaradawiającym nie jest. Mamy bowiem dziś przykłady znakomitej znajomości historyi polskiej u człowieka, który idzie w poprzek ideałom całego narodu i niemniej doskonałej znajomości historyi i literatury u innego, również profesora uniwersytetu, który chciałby osadzić kolonistów niemieckich na placówkach nauczycieli w przyszłej, polskiej szkole średniej.

Wobec takich faktów nie należy tak łatwo poddawać się złudzeniom. Najwięcej z natury rzeczy unaradawiającym jest przedmiot, o którym — na tym zjeździe — zbyt mało się mówi, to jest nauka języka polskiego. Przedmiot ten jednak jest na ogół słabo, albo zupełnie źle uczony. Winę tego stanu ponosi sam stan nauczycielski, który dotąd nie zdobył się na ułożenie metodyki nauczania języka polskiego i nie posiada — poza niektórymi wyjątkami — odpowiedniego przygotowania z zakresu ścisłej filozofii, niezbędnego dla należytego uczenia języka polskiego w szkole średniej. Nauka języka polskiego dziś — to przeważnie nauka frazesu. Trzeba z tem zerwać. Kończę przemówienie wnioskami, w których będę się starał ująć treść wywodów:

1) Zjazd członków T. N. S. W. uważa wobec niebezpieczeństw grożących moralnemu życiu młodzieży polskiej — za wskazane wprowadzić przedmiot łączący wszystkie inne, t. zw. „naukę o życiu“ jako naukę moralności przyrodzonej tak jak go pojęła kiedyś Komisya Edukacyjna.

2) Zjazd uważa za wskazane wprowadzenie jak najrychlejsze „nauki o Polsce“ jako osobnego przedmiotu nauki, obejmującego także naukę o prawach obywatelskich.

3) Zjazd uważa za rzecz pierwszorzędnej wagi dla unarodowienia szkoły podniesienie poziomu nauki języka polskiego przez ułożenie odpowiedniej metodyki tego języka oraz przez wezwanie polonistów do pogłębienia wykształcenia przez studyum ścisłej filozofii.

Dr. Weiner (Kraków).

Ze względu na to, że wszelkie dotychczas ogłaszane prace z dziedziny reformy szkolnictwa są tylko cząstkowemi, nie stanowiącemi syn-

121

tetycznej całości, przeto w myśl wywodów prof. Kujawskiego należy samą pracę reformacyjną zorganizować w tym duchu, by stanowiła system i obejmowała wszelką działalność wychowawczą z uwzględnieniem wszelkich stosunków społecznych i politycznych.

Dyr. Nittman (Lwów).

Punktem wyjścia w nowej szkole ma być: 1. Język ojczysty. 2. Historya ojczysta. 3. Geografia ojczysta.

Dyr. Missona (Brzesko).

Zjazd nauczycieli zwraca się do Wys. Rady szk., ażeby już w obecnych warunkach starała się popchnąć pracę w szkołach średnich w kierunku potrzeb narodowych przez polecenie nauczycielom:

1. zajęcia się wychowaniem młodzieży pozaszkolnem zapomocą wykładów i osobistego stykania się uczniami;

2. zajęcia się wychowaniem cielesnem młodzieży zapomocą stałych wycieczek cotygodniowych;

3. zajęcia się nadzorem nad samodzielną pracą umysłową młodzieży (czytelnie, kółka);

4. zajęcia się nadzorem nad pracą ręczną, ogrodową, warsztatową, sklepową młodzieży;

5. przeznaczenie na to jednego dnia w tygodniu, w którym dani nauczyciele byliby wolni od nauki szkolnej.

Na przyszłość żądamy dla Rady szkolnej usamoistnienia zupełnego i uwolnienia od więzów centralistycznych, aby mogła przeprowadzić unarodowienie szkolnictwa.

Prof. Bochenek (Lublin).

Pierwszy Oddział Stowarzyszenia Nauczycielstwa polskiego w Lublinie wnosi na Zjazd Nauczycielstwa polskiego w Krakowie w dniu 27. maja 1917, aby Zjazd powołał Komisyę, której obowiązkiem byłoby stworzenie Polskiej Wyższej Szkoły Pedagogicznej. Zadaniem tej szkoły będzie zawodowe przygotowanie wychowawców i nauczycieli szkół średnich i zawodowych.

Tenże Oddział S. N. P. w Lublinie wnosi, by Zjazd polecił Towarzystwu nauczycieli szkół wyższych stworzenie wakacyjnych kursów uzupełniających dla nauczycieli szkół średnich, zwłaszcza w zakresie zagadnień wychowawczych.

Tenże Oddział S. N. P. wnosi, by Zjazd polecił Towarzystwu nauczycieli szkół wyższych i Stowarzyszeniu Nauczycielstwa Polskiego w Warszawie zogniskowanie działalności wydawniczej różnych Towarzystw Nauczycielskich Polskich w jednej organizacyi wydawniczej, działającej na całym obszarze Polski.

Prof. Chmielewski (Lublin). Wniosek I. Oddziału Stowarzyszenia Nauczycielstwa polskiego w Lublinie.

Zjazd uznaje za naglącą potrzebę założenia Międzydzielnicowego Biura, za pośrednictwem którego nauczyciele, pracujący nad poszczególnemi sprawami, dotyczącemi budowy i przebudowy szkolnictwa polskiego, porozumiewaćby się ze sobą mogli, a na peryodycznych Zjazdach Międzydzielnicowych wyniki swych prac komunikowali.

Dr. Bykowski Ludwik (Lwów)
po krótkiem uzasadnieniu przedstawia wniosek następujący:
„Zjazd T. N. S. W. poleca Zarządowi gł. zorganizowanie o ile możności już w jesieni b. r. zjazdu nauczycielstwa polskiego bez względu na dzielnice w celu ustalenia zasad wychowania narodowego i systemu szkolnictwa polskiego“.

Wniosek przyjęto jednogłośnie bez dyskusyi.

III. Referaty

z inicyatywy Towarzystwa Polskiego Instytutu Pedagogicznego (Kraków) pod zbiorowym tytułem „O ważności poszczególnych grup przedmiotów szkoły średniej dla ogólnego wykształcenia“

poprzedził krótkim wstępem wiceprezes tego zrzeszenia, profesor Uniw. Jagiellońskiego W. Heinrich, przedstawiając jego zadania i wskazując na łączność pracy m'ędzy Instytutem a innemi polskiemi organizacyami naukowemi i nauczycielskiemi.

Profesor Uniw. Jagiell. K. Morawski (Kraków)
wygłosił świetną przemowę w obronie wartości studyów klasycznych, którą streszcza sam w kartce do Redakcyi, nie mając czasu na jej zredagowanie, temi słowy:

„Myślą mej przemowy było, że różnorodne szkoły są konieczne, że monopol humanistycznego gimnazyum ustać musi, bo ten monopol szkoły zabija. Niemniej gimnazyum z greką i łaciną jest koniecznem dla powołanych i naszej kultury“.

Profesor Uniw. Jagiellońskiego I. Chrzanowski:
Wchodzić *in meritum* sprawy, rozstrząsać wszystkie, a choćby tylko główne, dowody, jakimi zwolennicy i przeciwnicy nauczania języków starożytnych w szkole średniej uzasadniają swoje poglądy, — nie mam ani możności, ani zamiaru. Zresztą dowody to po większej części tak nieścisłe, tak dowolne, tak często płynące raczej z przeświadczenia, niż z przekonania, raczej z osobistych uprzedzeń i upodobań, niż ze znajomości pedagogiki teoretycznej i doświadczalnej, — że o tem, aby się przeciwnicy pogodzili, nie ma do dziś dnia przynajmniej mowy[1]).

---

[1]) Jeden z najpoważniejszych filologów naszych w rozprawie p. t. Kwestya języków klasycznych w szkołach średnich

122

Na jeden tylko dowód, często przytaczany przez obrońców klasycyzmu, niechaj wolno będzie zwrócić przelotną uwagę: powołują się oni na długotrwałą tradycyę szkolną, mówiąc, że szkoła, która się przyczyniła do stworzenia tak wspaniałej literatury, oświaty i wogóle cywilizacyi, jaką na kartach swoich zapisała historya Europy nowoczesnej, nie jest i nie może być omyłką dziejową. Ależ przy całym szacunku, jaki człowiek kulturalny powinien żywić dla tradycyi, ma on z pewnością nie mniejszy obowiązek jej ustawicznej rewizyi krytycznej, — obowiązek, który się zwłaszcza w pewnych chwilach dziejowych wysuwa niemal na samo czoło zagadnień życia. Że do tych chwil należy ta, którą przeżywamy, to rozumieją wszyscy: jeżeli kiedy, to chyba dzisiaj na bolesną ironię zakrawa powoływać się, jako na powagę, na tradycyę takiej, jak nasza, cywilizacyi, t. j. cywilizacyi, która narody europejskie doprowadziła do mordowania się wzajemnego.

Więc dzisiaj dajmy pokój wszelkim aktom wiary w nieomylność tradycyi, myślmy o budowie nowego życia! Czy przyszła szkoła polska, która, miejmy nadzieję, będzie polską nie tylko z języka, ale i z ducha, która się nakoniec uwolni od wszystkich nieproszonych opiek, ma nadal pielęgnować system nauczania języków starożytnych? Powtarzam, *in meritum* sprawy nie wchodzę. Idzie mi jedynie o jedną uwagę praktyczną.

Można być prawie pewnym, że się nauka języka łacińskiego z tych, — czy innych przyczyn, słusznie, czy niesłusznie, z pożytkiem, czy ze szkodą dla młodzieży, — na długo jeszcze w naszej szkole średniej ostanie: jest to poprostu, jeżeli się nie mylę, koniecznością historyczną. Ale nauka języka greckiego taką koniecznością nie jest, nie ma bowiem za sobą ani tej wiekowej przeszłości, z której racya bytu nauki języka łacińskiego czerpie swoją siłę, ani ostatecznie tego argumentu, któ-

---

(Bibl. Warsz. 1901. III.) przyznaje otwarcie (i rozbrajająco), że „w jaki sposób nauka łaciny i greczyzny wywiera... kształcący wpływ na umysły, trudno dokładnie określić“ (str. 412). Wśród „argumentów drugorzędnych“, przemawiających za nauką języków starożytnych, autor oddaje pierwszeństwo temu, że nauka języków klasycznych jest idealnym węzłem, łączącym dziś narody oświecone, a tem samem łagodzi przeciwieństwa i spory narodowe, coraz silniej zagrażające powszechnej oświacie i dobrobytowi ludzkości“ (str. 413). *Risum teneatis, amici!*

rym tak lubią wojować obrońcy kierunku klasycznego, że fundamentem nowoczesnej kultury europejskiej jest kultura klasyczna: prawda, ale przecie kultura grecka nie bezpośrednio wpływała na Europę zachodnią, tylko przeważnie za pośrednictwem kultury rzymskiej!

Inne argumenty, którymi się pospolicie uzasadnia potrzebę nauczania łaciny w szkołach średnich, także tracą dużo mocy i powagi w zastosowaniu do greczyzny.

Czem zwolennicy nauki języka łacińskiego uzasadniają jej potrzebę? Tem, po pierwsze, że nauka gramatyki tego języka, który jest — to święta prawda — jednem z największych arcydzieł, na jakie się duch ludzki zdobył, i nie mniej wielką, nie mniej wspaniałą, nie mniej logiczną budową, jak państwo i prawo rzymskie, — że nauka gramatyki łacińskiej jest, a raczej może być przy pomocy dobrego nauczyciela, dzielnym i pożytecznym czynnikiem rozwoju umysłowego. Zgoda. Ale w takim razie, naco i poco, oprócz łaciny, uczyć jeszcze greczyzny, która jest może od łaciny językiem dźwięczniejszym, piękniejszym, ale, jak to przynajmniej znawcy języków starożytnych twierdzą, nie ma ani w swej morfologii, ani w swej składni tej żelaznej konsekwencyi, co łacina.

Inny argument, którym zwolennicy języka greckiego w szkole średniej najczęściej szermują, ma, zdawałoby się, dużo słuszności. Nikt, nawet największy wróg klasycyzmu w szkole średniej, nie będzie chyba przeczył, o ile nie jest ogołocony z rozumu i z poczucia piękna, że literatura grecka to jedno z najwspanialszych zjawisk w historyi ducha ludzkiego, że znajomość arcydzieł literatury greckiej jest dla człowieka wykształconego koniecznie, nieodzownie potrzebna, że ich rozbiór posiada niepospolitą doniosłość wychowawczą. Że zaś kluczem do poznania literatury greckiej jest język grecki, więc powinniśmy, mówią, uczyć się go w szkołach. Otóż to rozumowanie nie wytrzymuje najpobłażliwszej krytyki; co więcej jest ono najczęściej nieszczere: ci, co tak rozumują, oszukują, nazywając rzecz po imieniu, sami siebie. My wszyscy, a przynajmniej prawie wszyscy, którzyśmy się tutaj zgromadzili, ukończyliśmy gimnazya klasyczne, uczyliśmy się przez lat pięć języka greckiego. Połóżmy rękę na sercu i odpowiedzmy uczciwie: czy wielu jest z pośród nas takich, dla którychby znajomość języka greckiego, nabyta w gimnazyum, była

123

kluczem do literatury greckiej? czy możemy czytać swobodnie, t. j. tak, żeby odczuwać estetycznie, już nie tylko Eschylosa, Sofoklesa i Platona, ale choćby Homera i Herodota? Czy nie wolimy czytać np. tragików greckich w prześlicznych polskich kładach Morawskiego i Kasprowicza? A jeżeli tak, to pocośmy się wszyscy uczyli po grecku? Przecie nie wielu z nas poświęcało się w uniwersytecie studyom klasycznym; a z tych bardzo nie wielu byłoby jeszcze mniej, gdyby w gimnazyach greckiego nie uczono: bo przecie u nas uczą się w uniwersytecie języków starożytnych prawie ci wyłącznie, którzy chcą zostać nauczycielami gimnazyalnymi. Dlaczego mamy z tego robić tajemnicę? Poco się oszukiwać?

Lecz to, że po wyjściu ze szkoły nie umiemy po grecku tak, żeby módz czytać w oryginale arcydzieła literatury greckiej, nie jest jeszcze, niestety, jedynym praktycznym rezultatem nauki tego języka. Dwadzieścia osiem godzin tygodniowo ta nauka pochłania. Dwadzieścia osiem godzin! Jaki tego skutek? Taki, że niema w szkole czasu na gruntowną naukę języka ojczystego; uczniowie opuszczają szkołę, nie znając dobrze gramatyki własnego języka, bardzo licho przygotowani do słuchania wykładów uniwersyteckich w tej dziedzinie. Proszę wierzyć, że na egzaminach doktorskich zarówno, jak nauczycielskich, zdarzają się przypadki, iż kandydaci nie wiedzą, co to są zdania podmiotowe albo względne, — a przecie to wiedzieć powinni z nauki szkolnej. A cóż dopiero mówić o znajomości literatury ojczystej! Tylko dziesięć godzin tygodniowo wyznacza się na czytanie arcydzieł literatury narodowej od XVI do XX wieku. Czy to nie nonsens pedagogiczny? czy to nie grzech narodowy? Niech każdy nauczyciel języka polskiego powie, czy się mu choć jeden raz w życiu udało „przerobić" (jak to się mówi w żargonie szkolnym) te wszystkie utwory literatury polskiej, które każdy Polak powinien znać i kochać! A znajomość obcych języków nowożytnych czy nie traci na tem, że dwadzieścia osiem godzin idzie na naukę greczyzny? Mówi się, że kultura grecka jest pramacierzą kultury nowoczesnej. Dobrze. Ale czy przytem nam, Polakom, wolno zapominać o tem, że największe dobrodziejstwa kulturalne zawdzięczamy kulturze romańskiej, to jest największej na całym świecie kulturze, nadewszystko zaś francuskiej. I tak mało uczymy się języka francuskiego! Tak mało znamy hi-

storyę kultury romańskiej, i wskutek tego mamy przesadny, bałwochwalczy, dla zdrowia polskiej duszy szkodliwy kult dla kultury niemieckiej, która nam była i jest nie matką, tylko macochą! A matematyka i nauki przyrodnicze czy nie zyskałyby na wyrzuceniu ze szkoły średniej języka greckiego?

Niech w przyszłem szkolnictwie polskiem na jakieś dwadzieścia gimnazyów przypada jedno z obu językami starożytnymi: i owszem; ci, którzy mają wielkie zdolności niech się uczą także i po grecku, aby się potem poświęcić pracy naukowej nad historyą kultury europejskiej, pracy bezinteresownej, tak, na nieszczęście, u nas rzadkiej. Ale z ogromnej większości średnich szkół polskich naukę języka greckiego powinno się usunąć. A uzyskane tym sposobem godziny powinno się przeznaczyć nadewszystko na naukę języka ojczystego, a po części na inne przedmioty, wśród których, pamiętajmy o tem, musi się znaleźć poczesne miejsce na rozbiór arcydzieł literatury greckiej — w przekładach polskich; bo znajomość tych arcydzieł jest, raz jeszcze, nieodzowna dla każdego, kto chce być już nie tylko człowiekiem rzetelnie wykształconym, ale wogóle człowiekiem kulturalnym.

IX. Znaczenie nauk ścisłych w wykształceniu ogólnem

~~Profesor Uniw. Jagiellońskiego Maryan Smoluchowski:~~

Dla scharakteryzowania znaczenia nauk ścisłych w wykształceniu ogólnem nie będę się powoływał na autorytety i cytaty, ale nie mogę się powstrzymać, żeby nie podkreślić słów, któremi Herbert Spencer w swem klasycznem dziele "O wychowaniu" oświetla odrazu całą sprawę w sposób bardzo dobitny. Dzieli on mianowicie nauki na takie, które posiadają wartość konwencyonalną, czyli ornamentacyjną, jak nauki filologiczne i historyczno-literackie, oraz na nauki o wartości zasadniczej, wewnętrznej, do których w pierwszym rzędzie zalicza nauki matematyczno-przyrodnicze. Pierwszych trzeba się uczyć głównie po to, by nie skompromitować się w towarzystwie ich nieznajomością, drugich zaś dlatego, że na nich opiera się walka o byt, że na nich zasadza się cała dzisiejsza nasza cywilizacya. Oczywiście łatwo odgadnąć, które z nich Spencer uważa za ważniejsze i cenniejsze.

Nie chciałbym się ~~jednak~~ zapuszczać w teoretyczne roztrząsania sprawy z punktu widzenia systemu wychowawczego

Przemówienie, wygłoszone podczas Zjazdu Członków Towarzystwa Nauczycieli Szkół Wyższych, w dniu 27. maja 1917 r., w Auli Uniwersytetu Jagiellońskiego. - Muzeum, tom XXXII, czerwiec 1917, str. (286-294)

IX. Znaczenie nauk ścisłych

Spencera, ani też innych myślicieli, gdyż zdania co do tego z pewnością zbyt rozbieżne. Sądzę natomiast, iż każdy człowiek rozsądny, nieuprzedzony, zgodzi się na to, że szkoła powinna nas przygotować do życia, ale do życia rzeczywistego, dzisiejszego, nie do tego, jakie było 2000 lat temu, lub jakie sobie wymyślili jacyś poeci lub pisarze.

Jakie zaś cechy przedewszystkiem charakteryzują epokę, w której żyjemy, — chyba zbyteczne to przypominać! Wiek XIX. powszechnie nazwano „wiekiem pary i elektryczności". Wiek XX. jeszcze nie ochrzczony, ale to nie podlega wątpliwości, że otrzyma znów przydomek z dziedziny nauk ścisłych lub techniki. Zdumiewający, niebywały rozwój techniki, na tle naukowych postępów w fizyce i chemii, — to jest niewątpliwie główną cechą ostatnich 150 lat. Stworzył on nieprzeliczony szereg wynalazków, z któremi zżyliśmy się, jak gdyby istniały od wieków, poczynając od zapałek, gazu i nafty, a kończąc na aeroplanach, telegrafji bez drutu, promieniach Röntgena i łodziach podwodnych.

Postępy techniki, koleje, elektrotechnika oraz przemysł chemiczny, wywołały nie tylko przewrót zupełny w życiu materjalnem jednostki, ale także w życiu gospodarczem narodów i w życiu kulturalnem niezliczonej rzeszy ludu. A łączy się z tem przewrót społeczny, zmiana światopoglądu całej cywilizowanej ludzkości, która historję ludów popycha w kierunku nowym, przez żadnego historyka nie przewidzianym.

Źródłem zaś tego wszystkiego jest olbrzymi rozwój nauk ścisłych w ciągu ostatnich półtora wieków. Wykształcenie w tych naukach, zapoznanie z ich metodami, wynikami i praktycznem zastosowaniem — oto oczywiście pierwszy postulat szkoły, mającej nas przygotować do życia. Rozumie się, że potrzebuje tego przyszły inżynier, technik, przemysłowiec, rolnik, lekarz, gdyż zawód ich polega na pozytywnych wiadomościach z tego zakresu. Ale to samo stosuje się do nauczycieli, do urzędników administracyjnych, do każdego wogóle człowieka wykształconego; wszak powinien on przecież rozumieć mechanizm życia indywidualnego i społecznego, powinien się orjentować w zagadnieniach naukowych i technicznych świata dzisiejszego.

Na pierwsze miejsce wysunąłem p r a k t y c z n e z a s t o s o w a n i a nauk ścisłych w technice, gdyż ta rola ich w ogólnem

życiu społecznem jest najważniejsza; i sądzę, że też w szkolnictwie średniem naczelną zasadą musi być nie hasło: „nauka dla nauki“ tylko „nauka dla życia“. Sądzę między innemi, że program nauczania matematyki zastosować się musi do praktycznych potrzeb; że, określając wymiar tej nauki, traktować ją musimy głównie jako narzędzie, jako środek pomocniczy do fizyki i innych nauk, choć oczywiście w metodzie uczenia musimy postępować z całą oględnością, żeby nie uronić nic z jej wysokiej wartości dydaktycznej jako szkoły ścisłego, logicznego myślenia.

Nie wolno zatem, jak się to często dzieje, traktować matematyki w szkole wyłącznie jako środek gimnastyki myślowej, tylko trzeba koniecznie uczniom dostarczyć pewnego zasobu umiejętności i wiadomości, które posiadać muszą, chcąc rozumieć choćby treść zasadniczych pojęć fizycznych, nie mówiąc już o tej wielkiej liczbie osobników, dla których w późniejszych studyach technicznych lub przyrodniczych wyszkolenie matematyczne jest skarbem nieocenionym. Rozumie się też, że zgodnie z poglądem na rolę nauk ścisłych, pewne rozszerzenie czasu przeznaczonego na naukę matematyki uważam za niezbędne.

Olbrzymia wartość praktyczna nauk ścisłych pociąga jednak za sobą niebezpieczeństwo, żebyśmy jej nie uważali za argument jedyny, w uzasadnieniu ich podstawowego znaczenia dla naszego wykształcenia. Jest to pogląd szerzony właśnie przez przeciwników, którzy nie zaprzeczając tej roli nauk ścisłych w postępie cywilizacyi, twierdzą, że jako szkoła myślenia najwyżej stoi filologia klasyczna, i wysławianiem tej „formalno-wychowawczej“ wartości języków klasycznych usiłują obronić ich tradycyjne wszechwładztwo w naszem szkolnictwie.

Dla wyrobienia sobie jasnego sądu o tej nadzwyczajnie doniosłej kwestyi musimy się zająć bliższem rozważeniem formalno-wychowawczej roli, jaką matematyka, fizyka, chemia odgrywać mogą i powinny w rozwoju intelektualnym.

Jest to rzeczą oczywistą, że studya gramatyczne dostarczają gimnastyki umysłowej i że kształcą zdolność logicznego rozumowania w wyższym stopniu niż np. historya, która prawie wyłącznie tylko przemawia do pamięci. Zazwyczaj jednak tylko ci podkreślają wartość filologii, jako środka kształcenia rozumu,

którzy sami poznali nauki ścisłe wyłącznie na podstawie niedostatecznej i wadliwej nauki szkolnej, którzy zatem pojęcia mieć nie mogą o doniosłości ich dla prawidłowego rozwoju umysłowego.

Po pierwsze podkreślam punkt o znaczeniu kardynalnem: fizyka i chemja, na równi z naukami opisowo przyrodniczemi, kształcą zdolność bezpośredniej obserwacji, spostrzegawczość i samodzielność sądu, w podczas gdy nie tylko filologja, ale wszystkie wogóle t. zw. nauki humanistyczne, opierające się wyłącznie na nauce książkowej, działają pod tym względem przeciwnie, wprost zabójczo.

Skarżono się swego czasu na ankiecie wychowania średniego w Wiedniu, że absolwenci gimnazyum klasycznego n. p. w laboratoryum chemicznem, są zupełnie bezradni początkowo, bo nie umieją rozróżniać barw. Oni wogóle nie umieją patrzeć, ich zmysły zdegenerowały jako organa szczątkowe, nieużyteczne, gdyż tradycyjne gimnazyum, podobnie jak uczony scholastyk średnich wieków, uznaje tylko jedną drogę poznawania: przez studyum bibuły przedrukowanej. Czyż można się dziwić, że produkuje ono tylko umysły papierowe, że wyrastają z niego urzędnicy tacy, w jakich niestety posiadamy.

Fizyka, chemja, nauki opisowo-przyrodnicze uwydatniają cechę, świadomie zaznaczoną przez Bacona i Galileusza, która zasadniczo różni naukę dzisiejszą od nauki średnich wieków i starożytności: one uczą czytać prawdę nie z bibuły ani z własnej fantazyi, tylko z obserwacyi przyrody.

Żeby zaś ta ich cecha charakterystyczna i w szkole się zaznaczyła, musimy uczyć ich w sposób prawidłowy, t. j. nie tylko pokazując „ex cathedra“ doświadczenia, ale opierając się na własnoręcznych ćwiczeniach uczniów w pracowni fizycznej i chemicznej, na własnej obserwacyi przyrodniczej. W Ameryce, Anglji nie da się wcale pomyśleć nauka fizyki, chemji bez pracy laboratoryjnej uczniów; a także Niemcy, nawet Rosya daleko nas na tem polu prześcignęły.

I u nas są chlubne początki poprawy, w ale jakżeż nikłe i nieliczne! A niestety zdarza się i dziś czasem nie tylko w gimnazyach, ale nawet w szkołach realnych, lub w t. zw. szkołach handlowych w Królestwie prawdziwe horrendum pedagogiczne: czysto dogmatyczny wykład owych przedmiotów na pod-

stawie książki, bez jakichkolwiek doświadczeń lub pokazów. Takie nauczanie dogmatyczne stanowczo uważam za gorsze niż brak wszelkiej nauki; gdyby w ten sposób uczono fizyki i chemji, zgodziłbym się z filologami, ażeby te przedmioty zupełnie wyrzucić ze szkoły.

Rozważmy drugi szczegół, ważny dla osądzenia wychowawczej roli nauk ścisłych. Kształcą one nie tylko w samodzielnej obserwacji, ale wprawiają nas, tak jak żadne inne nauki, we właściwej metodzie rozumowania naukowego, zarówno indukcyjnej jak i dedukcyjnej kładąc przy tem jak największy nacisk na faktyczną dokładność i logiczną ścisłość.

Istotą nauk historycznych jest możliwie wierne zbadanie i regestrowanie pewnego szeregu faktów, oraz usiłowanie ewolucyjnego ich objaśnienia. Praw, w znaczeniu ścisłem słowa, żadnych nam historja nie wyjawia, gdyż odnosi się do łańcucha faktów jednorazowych, nie powtarzających się.

Również filologia nie zna pojęcia ścisłych niezmiennych praw, ale operuje pewnym surrogatem: pojęciem reguły i to reguły z wyjątkami. Uczeni filologowie stworzyli te reguły jako rezultat skrzętnych studjów nad empirycznym materjałem językowym, ale gramatyka szkolna uczy wyłącznie tylko rozumowania dedukcyjnego, t. j. stosowania owych reguł, które tu występują jako dogmatycznie objawione, zupełnie sztuczne i pozbawione wewnętrznej logiki prawidła. Wyrabia to pewną konsekwentność myślenia, ale zarówno też skłonność do przeceniania słowa, formy, w porównaniu do treści istotnej, myśli.

O ile wyżej stoi matematyka, której prawa nie są dogmatami z zewnątrz narzuconemi, tylko wypływają z wewnętrznej konieczności, z nieubłaganej logiki, tak że ich słuszność osądzić może każdy, kto sobie zada trud myślenia. Jest ona najlepszą szkołą ścisłej logiki i jako taka jest czynnikiem prawdziwie zbawiennym w wykształceniu ogólnem, niezależnie od użyteczności swej treści. Z drugiej strony przyznać trzeba, że czysta matematyka jest szkołą nieco jednostronną; po pierwsze że uczy prawie wyłącznie tylko dedukcyjnej metody rozumowania, po drugie, iż treść jej dotyczy pojęć abstrakcyjnych, oderwanych od życia, które dopiero za pośrednictwem nauk przyrodniczych nabierają związku z namacalną rzeczywistością.

W fizyce, chemii, astronomii zaś każdy krok daje nam typowe, klasyczne przykłady bądź to indukcyjnego rozumowania, t. j. uogólniającego wnioskowania na podstawie empirycznego materyału, i ujmowania go w prawo ścisłe, niezmienne, bądź też rozumowania dedukcyjnego, dochodzącego z tych praw ogólnych drogą ścisłych, matematycznych obliczeń do wniosków specyalnych.

Długi szereg faktów z historyi tych nauk, jak n. p. ewolucya naszych wiadomości o ruchach planet, prawach Keplera o Newtonowskim prawie grawitacyi, odkrycie Neptuna, poznanie praw załamania światła, rozwój zasadniczych pojęć z dziedziny ciepła, i t. p. figurują we wszystkich podręcznikach jako klasyczne przykłady rozumowania naukowego.

Rozumie się zresztą, że w praktyce na niższym poziomie szkolnictwa stosować należy prawie wyłącznie metodę heurystyczno-indukcyjną, podczas gdy na wyższym poziomie także matematyczne dedukcye powinny znaleźć należyte miejsce.

Matematyczna ścisłość i logiczna zwięzłość całej nauki wyróżniają fizykę wraz z astronomią, z pośród nauk przyrodniczych, dzięki tym właściwościom wybija się ona na ich czoło, jako nauka o zasadniczych prawach przyrody, lub jak Anglicy ją nazywają: jako „filozofia przyrody".

Łączy się z tem inna ważna sprawa: związek nauk ścisłych, a zwłaszcza fizyki z filozofią. Wyznaję, że pewne pogłębienie filozoficzne uważam za kardynalny warunek ogólnego wykształcenia, t. zw. propedeutykę filozoficzną cenię wysoko jako przedmiot, który nie tylko w gimnazyum, ale w każdej szkole średniej powinien figurować, — oczywiście pod warunkiem, że nauka ta będzie bardzo umiejętnie udzielana, co jest sprawą wcale nie łatwą. Bezwartościowy albo wprost szkodliwy byłby wykład dogmatyczny i pamięciowe uczenie się t. zw. elementów logiki i psychologii. To zaś czego potrzeba, jest: umiejętne wprowadzanie w kwestye filozoficzne, zwłaszcza z jednej strony: roztrząsanie, w formie dyskusyi sokratesowskiej, zasadniczych zjawisk psychicznych, oraz stosunku ich do zjawisk fizyologicznych i pobudek fizycznych, z drugiej strony zwracanie uwagi na formy logicznego wnioskowania, analizowanie istoty definicyi, dowodów, hipotez, teoryi, zainteresowanie

problemami teoryi poznania. Chodzi krótko mówiąc głównie *o pobudzenie do filozoficznego zastanawiania się.*

Żadna zaś nauka nie daje tyle materyału, nie doprowadza tak prosto i naturalnie do tych kwestyj jak fizyka; każdy jej problem należycie pogłębiony, odsłania ostatecznie zagadnienie filozoficzne; i nie jest to wcale przypadkiem, że uczeni tej miary co Mach, Ostwald, Duhem, Poincaré i t. d. wsławili się zarówno jako fizycy jak i też jako filozofowie.

Jakie wnioski stąd się wysnuwają? Z wysokiej wychowawczej wartości fizyki dla ogólnego wykształcenia skorzystamy należycie tylko wtedy, jeżeli jej uczyć będziemy tak jak to trafnie kiedyś orzekł Zjazd niemieckich przyrodników w Meranie: „aby nauczanie fizyki służyć mogło za *przykład sposobu*, jak się zdobywa prawdę w obrębie *wszelkich nauk doświadczalnych*".

Nacisk kładłem poprzednio na nieocenioną *praktyczną* wartość nauk ścisłych; ale nie znaczy to bynajmniej, żeby w *sposobie nauczania* górować miał moment utylitarny. Przeciwnie, takie zbanalizowanie tej pięknej nauki uważałbym za bardzo niepożądane; i pragnąłbym raczej usilnie filozoficznego pogłębienia tej nauki, gdyż tym sposobem ona zyskuje na treści idealno-humanistycznej. Odnosi się to zwłaszcza także do szkół kierunku realnego, w których dotychczas bardzo daje się odczuwać pewien brak idealizmu naukowego.

Wreszcie jedną stronę poruszyć chciałbym, która może niejednego zdziwi: *stronę etyczną*. Niewątpliwie nauka historyi ojczystej, a zwłaszcza też nauka języka i literatury rodzinnej — którą w ogóle obok nauk matematycznych i przyrodniczych uważam za najważniejszy przedmiot szkolny — w bliższym są związku z kształceniem etycznem i więcej zawierają pierwiastków moralnych, choć nawiasem mówiąc nie brak i antimoralnych. Ale i nauki ścisłe przynoszą pewne cenne elementy tego rodzaju o odmiennym, co prawda, typie.

Wystarczy wspomnieć o wyrobieniu sumiennej cierpliwości i akuratności przez pracę laboratoryjną, której zaprowadzenie podnosiliśmy już jako konieczny postulat. Ale ważniejszy jest inny wzgląd. Od wszech czasów nauki ścisłe, uznające tylko prawa przyrody i własny rozum człowieka, były *antidotum*, odtrutką przeciwko ślepej *wierze w autorytety*, przeciwko

niewolniczej służalczości umysłów. Także w szkole wyrabiają one samodzielność sądu, odwagę przekonań, przez krzewienie głębokiej czci dla ścisłości i objektywnej sprawiedliwości, w przez ubóstwianie prawdy! Entuzyazm dla prawdy, „fanaticism for veracity", jak mówił Huxley, fanatyczne dążenie do rzetelności i prawdy, w to jest podkład etyczny, odpowiadający tym naukom i przez nie wzmocniony. Prowadzą one walkę z blagą i frazesem, w chorobami, które toczą nasze społeczeństwo i zniekształcają nasz język literacki, zwłaszcza w tej dzielnicy, która przez długi okres czasu, pod obuchem politycznego niewolnictwa, jak najstaranniej tępić musiała zmysł prawdomówności.

Roztrząsania nasze doprowadzają nas ostatecznie do następujących wniosków. Przyznać musimy, że tradycyjne nasze wychowanie klasyczne jest w znacznej mierze przyczyną dobrze nam znanej anemji społecznej i skłonności do biurokratycznej formalistyki; wywołać ono może, co najwyżej u szlachetniejszych jednostek, zamiłowanie do biernej, estetycznej kontemplacyi albo literackiej tęsknoty za dawno minionemi czasami. Nie tego nam potrzeba! Nie potrzeba też owego krótkowzrocznego, płaskiego utylitaryzmu, jaki się często objawia u niedokształconych należycie absolwentów szkół realnych, wskutek naukowych niedostatków dotychczasowego ich planu. Przedrzemaliśmy w letargu wiele dziesiątków lat, podczas gdy świat pędził dalej, w szalonem tempie. Budzimy się w chwili, dla naszej przyszłości rozstrzygającej; łączymy się w dążnościach narodowych. Ale to samo jeszcze nie wystarczy!

Chwila ta w niejednem przypomina epokę z przedednia Komisyi Edukacyjnej. Zdobądźmy się więc na podobne, szeroko i zdrowo obmyślane dzieło reformy wychowania. Czas największy, żebyśmy się zoryentowali, że żyjemy w wieku XX; że żebyśmy sobie kuli broń, którą się walczy w czasach dzisiejszych, t. j. wyszkolenie w naukach ścisłych, znajomość praw przyrody, umiejętności techniczne, obrotność gospodarczą.

Potrzeba nam ludzi o światopoglądzie nowoczesnym, a zarazem o pewnym idealizmie życiowym, zamiłowanych w nauce i zdolnych do pracy pozytywnej, zgodnej z obowiązkiem społeczno-narodowym! Ludzi takich przygotować może tylko wykształcenie, zastosowane do postulatów życiowych doby obe-

cnej, uwzględniające nauki ścisłe w szerokim zakresie i z metodą celowo obmyślaną.

Profesor dr. Ludwik Bykowski (Lwów):

Jak każdy przedmiot, tak i nauki przyrodnicze w ściślejszem znaczeniu, czyli historya naturalna, mają w szkole średniej ogólnokształcącej cel dwojaki: jeden materyalny, to zdobycie pewnej ilości wiadomości realnych, drugi, formalny, rozwój umysłu wychowanka i jego władz.

Bezpośrednie znaczenie w późniejszem życiu mają nauki nasze dla znacznej ilości zawodów, zwłaszcza, jeśli praca nie ma być traktowana rzemieślniczo: opiera się na nich lekarz, posługuje aptekarz i weterynarz, a w innym kierunku rolnik, ogrodnik i leśnik, nie obejdzie się bez nich górnik, a w wielu wypadkach potrzebuje ich pomocy technik i przemysłowiec. Dla innych działów i zawodów oczywiście nie mają one bezpośredniego znaczenia, o ile się stoi na stanowisku ciasnego utylitaryzmu, chociaż pewne działy, jak wiadomości o budowie i czynnościach własnego ciała, jakoteż zasady zachowania zdrowia, więc znajomość somatologii i zasad hygieny mają wartość powszechną. Równie szerokie zajmuje stanowisko znajomość praw i objawów życia umysłowego, więc psychologia i psychofizyologia, bez której nie może przecie się obejść ani żaden pedagog, kapłan, sędzia, adwokat, lekarz...

Nauki przyrodnicze mogą zatem służyć do celów czysto praktycznych, ale jeśliby tak zakres ich zacieśnić, wtenczas znika ich wartość edukacyjna, chociaż zawsze zachowuje się skuteczność ekonomiczna. „Bez treści duchowej są one tylko pewną tresurą ręczną“. Można w najdrobniejszych szczegółach opanować np. znajomość anatomii, a przecież pozostać człowiekiem niewykształconym, być tylko zmechanizowanym rzemieślnikiem, jeśli umiejętność ta nie stanie się organiczną częścią naszego zapatrywania na całość świata.

Lecz, jeśli nieco wyjdziemy poza obręb tego najskrajniejszego, samolubnego utylitaryzmu, jeśli staniemy na stanowisku ogólniejszem, społecznem, a tylko takie może uznać człowiek współczesny kulturalny, mówiący o kształceniu młodzieży, zakres rozszerza się i wykazuje, że nauk tych nie można ograni-

128

czyć do szkół fachowych, lecz musi się je wprowadzić w program ogólnego wykształcenia.

Powołam się na zdanie Szczepanowskiego, że społeczeństwo nie potrzebuje samych tylko „specyalistów“, ale winno w całym swym składzie opierać się na ludziach mądrych. A mądrość, to „zrozumienie przez człowieka tego miejsca, które zajmuje w życiu, w świecie, w swej ojczyźnie, rodzinie, społeczeństwie“.

Więc oczywiście człowiek wykształcony winien oryentować się w przyrodzie, winien przedewszystkiem znać przyrodę ojczystą. Oczywiście wobec ogromu materyału, którego w całej rozciągłości nawet fachowiec nie może ogarnąć, ograniczyć się należy do form najbardziej typowych i ważnych z jakiegolwiekbądź względu, co do ogółu, to nie chodzi o szczegółową wiadomość tę czy ową, jak raczej o znajomość metody zdobycia tej wiedzy w razie potrzeby, o zdolność oryentacyi i umiejętność znalezienia samoistnego rozwiązania kwestyi i odpowiedzi.

Ale nie tylko fizyografia ziemi ojczystej ma wejść w program wykształcenia ogólnego. Wszak nauki przyrodnicze starają się odpowiedzieć na cały szereg zasadniczych zagadnień, dotyczących istoty świata i naszego „ja“ i wzajemnego ich stosunku, wskazują na ścisłe i nieodmienne prawa „nieodzowne, żadnego nie cierpiące wyjątku“.

Zatem absolwent szkoły średniej powinien znać budowę poszczególnych typów roślin i zwierząt w kolejnem doskonaleniu się, winien znać zasadnicze zjawiska życiowe stopniowo co raz bardziej komplikujące się, winien zrozumieć zasady współczesnego systemu, jako wyrazu rozwoju i doskonalenia się, ma on widzieć ów żywy związek organizmów z otoczeniem i być świadomym tych wielkich praw, jakie rządzą przyrodą żywą, jak dziedziczność, zmienność, wpływ warunków i przystosowanie, rozwój i doskonalenie się znaczenie świata roślinnego dla całości życia nawet kulturalnego co ujawnia się i w obecnej wojnie, w której nasze ziemie żywią całą Europę środkową, zadając kłam frazesowi o bierności. Na tem dopiero ogólnem tle winien uczeń przedstawić sobie budowę i czynności własnego organizmu, i zrozumieć zasady zachowania zdrowia. Podobnież winien zdobyć wiedzę ogólną o ziemi, jej stanie dzisiejszym i przemianach, jakim ulegała w ciągu wieków. Lecz nie

tylko winien on znać fakta, lecz również je rozumieć, więc poznać też teorye, jakie starają się je wyjaśnić. Znajomość ich jest chyba konieczna dla ogólnego wykształcenia, a nauka szkolna wystrzegając się wszelkiej stronniczości i nie wiążąc się z jakimkolwiek systemem bezwzględnie, ani go nie narzucając wychowankom, winna w nich wyrobić zdolność krytycznej oceny, by stanęli oni z pełnem zrozumieniem wobec tych zasadniczych zagadnień, a nie dali się brać na lep frazesom różnych „popularnych“ wydawnictw i pseudonaukowych dyskusyi.

Równie ważne, jeśli nie ważniejsze dla szkoły średniej, jest wykształcenie ogólne, wyrobienie władz umysłowych, urobienie charakteru. Jeśli rozwinie się dostatecznie umysł, jeśli wyrobi szlachetne zamiłowania i ambicye, to wrodzona pojętność dozwoli każdej chwili samodzielnie dopełnić w razie potrzeby te, czy owe braki drobiazgowej nauki. A w tym kierunku pierwszorzędne znaczenie mają nauki przyrodnicze. „Interpretacya natury daleko wyższym jest celem — powiada Szczepanowski — aniżeli interpretacya jakichkolwiek tekstów. Nauki przyrodnicze, pojęte w należytym kierunku, jako dyscyplina umysłowa, dostarczają najlepszej gimnastyki umysłowej, lepszej od interpretacyi reguł gramatycznych. Proszę przedstawić sobie regułę gramatyczną, która zawsze wymaga mnóstwa wyjątków, lub pojęcie prawa pozytywnego w zakresie ustawodawstwa, które często jest tylko konwencyonalne i proszę porównać je z pojęciem ścisłem prawa natury. To pojęcie ścisłe jest jednym z najpotrzebniejszych czynników umysłowych, który nie da się osiągnąć filologią, bo wymaga interpretacyi natury, jaka odbywa się na terenie przyrodniczym“.

Jeśli zechcemy rzecz szczegółowiej rozebrać, to na pierwszy plan wysunie się rozwój władz poznawczych: zmysłu spostrzegawczego, oryentacyi, ścisłości rozumowania i krytycyzmu tak wobec siebie, jak i innych. Już na najniższym stopniu należy położyć właściwy nacisk na rozwój zdolności patrzenia i widzenia, choćby z pewnem ograniczeniem wiadomości szczegółowych, uderzającem jest, jak często uczniowie nasi nie mogą samodzielnie wyznać się w najprostszych rzeczach, a zdarza się, że zdolności te nie tylko nie rozwijają się z biegiem lat, lecz owszem cofają, znam przykłady, że gdy uczniowie w klasie pierwszej samodzielnie rozwiązywali przedstawienie kwestyi, szóstacy po-

szukiwali odpowiedzi w wyuczonych formułach, a nie znajdując w nich gotowego załatwienia stawali bezradni, lub puszczali na fale frazesu. Nauki przyrodnicze, jako obracające się w określonych ramach doświadczenia pozwalają na ścisłą kontrolę naszych wniosków i poglądów, wyrabiają więc ścisłość myślenia, krytycyzm. Ażeby nie ograniczyć się do słownych twierdzeń, lecz oprzeć się na faktach podam parę przykładów wyrażających liczbowo te stosunki. Ścisłych badań w tym kierunku mamy nie wiele, przykłady biorę z własnych spostrzeżeń. Przy pomocy stosownych testów określałem liczbowo wartości wskaźników rozmaitych władz u uczniów zakładu, gdzie pracuję. Drobiazgowe zestawienia szczegółów poczyniłem w klasie, w której gospodarzyłem przez szereg lat, a która zdała maturę w roku 1913, z tego materyału wybieram przykłady. Oto gdy wskaźnik spostrzegawczości wynosi u uczniów tej klasy przeciętnie 81, u przyrodników podnosi się na 95·6, gdy u filologów spada na 78·8! Przeciwnie ma się rzecz z pamięcią słów, kiedy filologowie okazują wskaźnik 75·4, zamiłowani historycy 72·7, przyrodnicy tylko 71·9. Ale już w pamięci wzrokowej stosunek się odwraca, i przyrodnicy ustępują miejsca jedynie rysownikom w kierunku pamięci barw, jeśli zaś chodzi o wzrokową pamięć logiczną wybijają się nieproporcyonalnie nad inne grupy: wskaźnik przyrodników 80·1, rysowników 60·6, a filologów ledwie 25·6, więc mniej, niż trzecia część. Dla ścisłości zaznaczam, że każda z tych grup obejmowała uczniów rozmaitego stopnia z uwagi na wyniki klasyfikacyjne, chociaż większość przedstawiała się lepiej, niż szary przeciętny ogół, którego nota przeciętna według naszego galicyjskiego systemu wynosiła 2·39, wobec 1·80 przyrodników, a 1·87 lingwistów. Wybitne też cyfry okazuje podatność wobec suggestyi, jako do pewnego stopnia ujemny wskaźnik samodzielności i krytycyzmu, oto wskaźnik ten u przyrodników wynosi 48·6, u filologów 61·4. W związku z tem podnoszę inny szczegół. Oto uczniowie moi, którzy przeszli kursa w laboratoryum gimnazyalnem, a później poświęcili się medycynie, zdobyli sobie opinię szczęśliwych w wykrywaniu najrozmaitszych anomalii podczas preparacyi zwłok w prosektoryum. Sądzę, że źródłem ich „szczęścia“ jest przyzwyczajenie do krytycyzmu, zwykły medyk nie zwraca uwagi na anomalię, bo nie mówi o niej podręcznik ani atlas, często sam siebie fałszywie sugge-

ruje przypuszczając złą preparacyę, gdy tamten bada sam, a kontrolując potem książkę, wykrywa nowość. Przedwczesne byłoby na podstawie tych niewielu cyfr wyprowadzać jakieś dalej idące wnioski, mimowoli jednak nasuwa się myśl, czy nie pozostaje w pewnym związku i zależności dążenie pewnych rządów do jaknajwiększego zmechanizowania swych obywateli i usunięcia samodzielności myśli z równoczesnem ograniczeniem nauk przyrodniczych w szkole, przy nadmiernej preponderancyi języków jak w Rosyi, lub zwłaszcza w Prusiech, gdzie nie tylko obowiązują powszechnie oba języki klasyczne w przygniatającej ilości godzin, nie uczy się nadto hebrajszczyzny. W każdym razie cyfry te, jako wyraz matematycznej ścisłości, mają dla poparcia wartości kształcącej nauk przyrodniczych bądź co bądź poważne znaczenie.

Oczywiście jednak wartość ta okaże się istotną i trwałą, jeśli zastosuje się właściwą metodę, jeśli wiadomości będą nauczone, jak wyrazili się twórcy Komisyi Edukacyjnej, „na rozum, nie na pamięć", jeśli nie będą wgadane, lecz samodzielnie przerobione. Jestem zdania, że jedno samodzielnie rozważone i przeprowadzone doświadczenie większą ma wartość, niż cały szereg wysłuchanych lekcyi. Przeprowadzam obecnie doświadczenia w tym kierunku, by poznać efektywność poszczególnych metod, środków i zabiegów dydaktycznych, ograniczam się do jednego przykładu. Oto uczniowie, z którymi przerobiono w klasach niższych materyał naukowy według zbiorowisk i pór roku, okazali obecnie w klasie piątej 79·8% odpowiedzi trafnych odnoszących się do zasobu wiadomości botanicznych ze stopnia niższego, wobec 69·3% u uczniów tych, którzy przerabiali materyał w sposób zwykły, systematycznie. Doświadczenie poruszało się w zakresie znajomości roślin; różnice okażą się jeszcze znaczniejsze, gdy przejdziemy do kwestyi biologicznych (66·7 i 53·9), co najciekawsze, że nawet zadanie z systematyki (wyliczenie typów) okazuje również przewagę na korzyść uczenia „niesystematycznego" 42·5 : 32·5.

Lecz nie tylko w kierunku intelektualnym nauki przyrodnicze mają zasadnicze znaczenie, one mogą przyczynić się do urobienia uczuć, wpływać na charakter.

Uczucia intelektualne, jako związane z pojęciem prawdy lub fałszu, łączą się z każdą rzetelną pracą umysłową, tu jednak

130

wobec konkretności sprawdzianów naszych dociekań uzyskują one grunt o wiele pewniejszy i ściślejszy.

Nader ważną rolę mogą nauki przyrodnicze odgrywać w kierunku estetycznym. Nietylko wykrywając nowe dziedziny piękna, że wskażę tylko na cały świat istot mikroskopowych, lecz przedstawiając przyrodę z jej harmonią i ładem odwiecznym odpowiednio pokierowane wpływają w pierwszej linii na rozbudzenie smaku estetycznego, lub zwracając uwagę na nieznane laikowi prawdziwe „naturalne dzieła sztuki". Zupełnie nie chodzi tu o jakąś sztuczną estetyzacyę, o robienie nowego rodzaju poezyi z nauk przyrodniczych, mijałoby się to z głównem zadaniem i zaprzepaszczało istotną ich wartość kształcącą. Nie należy więc zupełnie narzucać jakichś estetycznych sądów czy teoryi, owszem trzymając się właśnie metod przyrodniczych wyrobić jedynie okolicznościowo zdolność estetycznego poznania. Słusznie bowiem pisze Nusbaum, iż „trzeba rozumieć naturę, pojmować jej działania i kształty, umieć czytać w jej księdze, by módz się prawdziwie zachwycać i należycie odczuć całą pełnię jej dziwnych uroków. Jak przy oglądaniu obrazu historycznego konieczna jest znajomość treści dzieła, tak samo głębiej wniknąć można w piękno natury przy rzeczowem jej rozumieniu. Czyż mogli Francuzi odczuć prawdziwe piękno „Powitania stepu" Brandta, mimo, że pisali wprawdzie hymny pochwalne na jego cześć w swych sprawozdaniach, lecz kozaków uważali za karawanę Arabów na oazie. A jakież wrażenie może robić matejkowski „Rejtan" na tych wiedeńczykach, którzy uważają go za scenę karczemną? Zresztą sami artyści przyznają, że niedoścignionym wzorem pozostaje zawsze przyroda, mimo, że każde ich dzieło uduchowione zostaje idealną szatą indywidualności twórcy. Co więcej, studyowanie byle jakich tworów sztuki mogłoby młodzież zaciągnąć w służbę grymaśnego smaku, co nie może mieć miejsca przy kształceniu na takich wzorach, których wartość nie maleje z biegiem lat i nie zna różnicy mody i upodobań chwilowych, które to wzory są wiecznie młode, czerstwe i bez zarzutu, a taką jest nasza przyroda.

Również w dziedzinie etyki mogą nauki nasze skutecznie współdziałać. Zrozumienie, że każde stworzenie istnieje dla siebie, a nie na to, by nam służyło, poznanie, że człowiek nie jest samowładcą świata, lecz najmłodszem dzieckiem przyrody, może

tylko dodatnio wpłynąć na rozwój uczuć przez ukrócenie zarozumiałości i pychy. Świadomość wspólnego pochodzenia nawołuje nas do obowiązku uznania wszystkich ludzi za braci, zaniechania waśni i fanatyzmu, zarozumiałości rasowej, rodowej, umysłowej, czy kastowej. Lecz występując przeciw szowinizmowi zupełnie nie przeszkadzają rozwojowi uczuć patryotycznych. Owszem należycie kierowane mogą się stać potężnym czynnikiem do wyrobienia pozytywnego patryotyzmu. Wszak w przyrodzie widzimy bezwzględną walkę o byt, która i w stosunkach ludzkich się ujawnia, a zwycięstwo w niej i to nie przejściowe, lecz trwałe można uzyskać, jedynie drogą podniesienia się i doskonalenia. W walce tej zacieśniają się węzły całości, na plan pierwszy wysuwa się byt i dobro gatunkowe, czy rodowe, wobec którego osobnik jest czemś nader drobnem i podrzędnem. Stąd też obserwując życie zbiorowe w przyrodzie widzimy tam bezgraniczne niemal poświęcenie dla dobra całości, zupełne stłumienie egoizmu na rzecz uczuć społecznych altruistycznych. Lecz nie tylko to. Przecie góral dostawszy się w obce ziemie, choćby zamożniejsze od rodzinnych skał, przecież tęskni do swych gór i hal, do przyrody, w jakiej się wychował, jak dla kozaka niema życia poza rodzinnym stepem, a chłop wielkopolski woli marznąć w dole wygrzebanym na miejscu chaty, z którego mu nawet piecyk, czy kuchenkę zabrano, niż porzucić ziemię, „skąd nasz ród". A jeśli nie mamy ograniczyć się do naszego partykularza, musimy poznać ziemię naszą w całej rozciągłości. „Człowiek wzmoże w sobie miłość ziemi ojczystej, gdy tę ziemię pozna na wsze strony", mówi K. Libelt. A wtedy słowo Ojczyzna przestanie być dla młodzieży pojęciem oderwanem, przestanie być tylko oddźwiękiem przeszłości, wspomnieniem mogił, i nutą pieśni narodowej, lecz okaże się ideą żywą, przemówi szumem swych lasów, szmerem rzek, kwiecistym strojem łąk, majestatem gór, potęgą i urokiem polskiego morza!

Podobnie ważne znaczenie odegrać mogą nauki przyrodnicze w dziedzinie życia osobnikowego w kierunku wyrobienia zasad etycznych, wspominam tylko o zrozumieniu szkodliwości alkoholizmu lub nikotynizmu. Lecz nie tylko samo uświadomienie i zrozumienie zła, choć i to jest czynnikiem potężnym, ale i bezpośrednie wyrobienie charakteru wiąże się z prawidłowo prowadzonym tokiem nauki. Jeśli się nie ogranicza nauki do pa-

131

mięciowego przyswajania w izbie szkolnej, jeśli obserwacya natury przenosi się do pracowni i na świeże powietrze, natenczas pokonywanie trudów w marszach wycieczkowych, skrupulatność w żmudnem czasami preparowaniu drobiazgów rozwija z jednej strony zaufanie do sił własnych, rodzi przedsiębiorczość i poczucie energii zręczność i subtelność ruchów, a z drugiej nie tylko rozwija intelektualnie, lecz wyrabia też ścisłość, sumienność, wytrwałość i cierpliwość w pracy nieraz nieefektownej, a tą drogą powstają nowe przysposobienia ułatwiające opanowanie wad, a spotęgowanie zalet w ogóle. To też istotnie wszyscy niemal wielcy biologowie, jak powiada Nusbaum, miłujący życie w naturze, odznaczali się również w wysokim stopniu miłością dla życia ludzkiego, współczuciem dla cierpień ludzkich i zawsze przejęci byli najwznioślejszemi zasadami społecznemi, oraz ideą altruizmu względem współistot swoich. Lamarck, Darwin, Huxley, a z naszych badaczy Kopernik, Śniadeccy, Chałubiński, Dybowski, czyż to nie świetlane wzory patryotyzmu, poświęcenia i miłości dla ludzi i wszystkiego, co wzniosłe, piękne i szlachetne! Nawet najzagorzalsi przeciwnicy nie mogą odmówić im zalet wielkiego ich serca.

*

Lecz, by nauki przyrodnicze spełniały swe zadanie wychowawcze i kształcące, muszą być we właściwy, współczesny sposób prowadzone, nie mogą zamknąć się w dusznej sali szkolnej, ograniczyć do biernego przyjmowania na ślepo wgadanych poglądów, lecz stać się nauką czynu i pracy. Szczegółowe przedstawienie metod i sposobów wychodzi jednak poza ramy dzisiejszego mojego zadania.

IV. Dyskusya i wnioski.

Profesor Uniw. dr. K. N i t s c h (Lwów).

W sporze między profesorem Morawskim a profesorem Smoluchowskim przechylam się na stronę drugiego: nie zaprzeczam wprawdzie pewnej wartości gramatyki dla wykształcenia formalnego, nie tylko pamięci, ale godzę się, że w porównaniu z wartością kształcącą nauk ścisłych jest ona mała. Chcę jednak dać do dyskusyi pewne uzupełnienie: p o m i n i ę t o w n i e j z u p e ł n i e n a u k ę g r a m a t y k i j ę z y k a p o l s k i e g o j a k o j ę z y k a o j c z y s t e g o; filolog klasyczny podnosi tylko jasność, precyzyę i konsekwencyę gramatyki łacińskiej, fizyk widzi w ka-

żdej gramatyce tylko elementy pamięciowe, wreszcie — rzecz bardzo godna uwagi — poloniści o gramatyce polskiej ani słowem nie wspominają, rozumiejąc przez „język polski“ w szkole tylko lekturę, historyę literatury i jakąś nieokreśloną naukę stylu. Tymczasem właśnie gramatyka polska ma ogromną wartość w kształceniu umysłu: ona jedna z gramatyk zupełnie nie opiera się, t. j. nie powinna się opierać na nauce pamięciowej, ale powinna na materyale każdemu bez wyjątku bezpośrednio danym wyrabiać zdolność obserwacyi, a dalej zdolność grupowania i uogólniania; jeżeli dodamy, że przy nauce fonetyki możliwe są nawet elementarne eksperymenty, to zobaczymy, że metodologicznie bliższa jest nauka języka ojczystego naukom przyrodniczym niż humanistycznym, wspomniana zaś wyżej obserwacya własnej mowy przygotowuje do introspekcyi psychologicznej. Tak pojęta gramatyka polska winna znaleźć w szkole szerokie zastosowanie; niestety, traktowana przez wielu polonistów mechanicznie, uważana przez nich samych za kopciuszka wobec lektury, nic dziwnego, że u niespecyalistów budzi tylko lekceważenie.

Jan Śnieżek (Kraków). Tak w zagajeniu, jak we wszystkich odczytach o ogólnym ustroju szkoły polskiej i o znaczeniu poszczególnych przedmiotów, podnosili prelegenci znaczenie etyki w wychowaniu; widocznie w tym względzie poprawa daje się ogólnie odczuwać.

Skutkiem jednostronnego zapatrywania się na świat utrzymuje się dotąd przekonanie, że człowiek tylko walką utrzymać się może.

Wychowanie szkolne stara się też przedewszystkiem o to, aby przygotować młodzież do walki o byt, którą uznano za główną kierowniczkę świata a w połowie 19 wieku ogłoszono za dogmat naukowy. Tymczasem walka nie jest ani tak wszechwładną ani tak konieczną, za jaką ją ogłoszono.

Utrzymuje się do dziś człowiek co prawda kosztem życia innych organizmów; sama walka jednak doprowadziłaby świat organiczny już dawno do zagłady, gdyby nie drugie prawidło, równie ogólne, choć mniej bijące w oczy, a tem jest wzajemne popieranie się w życiu, bez którego kasta wojowników zginęłaby już w pierwszem pokoleniu. To popieranie się wzajemne w całej przyrodzie istnieje, objawia się jednak nie tak hałaśliwie, więcej spokojnie, często mimowolnie i zupełnie nieświadomie; trudniej się go zatem dopatrzyć, zwłaszcza że całe wychowanie już od wieków jest przepełnione tylko opisywaniem walki, i sławieniem bohaterów wojennych — na inne zaś sprawy nasz zmysł spostrzegawczy został przytępiony.

W świecie roślinnym, gdzie panuje taki spokój i harmonia, gdzie jedne rośliny drugim grunt do życia przygotowują, miejsca im ustępują, schronienia im udzielają, pokarmami się dzielą, dopatrujemy się chętnie tylko walki. W stosunku zwierząt do roślin, gdzie jedne drugim do odżywiania i rozmnażania pomagają, widzi się także przedewszystkiem tylko walkę, a w świecie zwierzęcym, zdaje się, że niema już nic inne-

132

go prócz walki, a tymczasem nawet walka jednych zwierząt popiera drugie.

To wzajemne popieranie się jest niewątpliwie silniejsze niż walka i ono a nie walka przyczynia się do postępu w przyrodzie.

Jednemu i drugiemu prawu ulega cała przyroda bezwiednie i ani zwierzę nie może rozszerzyć zakresu jednego prawa kosztem drugiego, nie może wpłynąć na zmianę stosunków przyrodniczych, nie może postarać się o to, aby wytworzyć sobie więcej środków utrzymania. Człowiek jedynie potęgą swego umysłu może pokierować przyrodą ku swojemu pożytkowi i umożliwić życie we wszystkich podniebiach wielokrotnie większej liczbie osobników, niż to w warunkach naturalnych jest możliwe.

Walka nie jest zatem dla człowieka jedynym sposobem utrzymania bytu — a powoływanie się na walkę wśród zwierząt i usprawiedliwianie jej wśród ludzi jako przyrodzonego prawa jest niegodne człowieka i należy ją pozostawić tym, którzy człowieczeństwa w sobie jeszcze nie poczuli lub je zatracili.

Zmienić stosunki naturalne można tylko ciągłą, usilną i wspólną pracą i do tej wspólnej pracy i wspólnego pożycia powinno zaprawiać rozumne wychowanie, które ma zrobić z człowieka natury, człowieka prawdziwej kultury.

Kto nie chce pracować, ten musi rabować, raz to trzeba sobie uświadomić i pracy z walką nie mieszać.

Tymczasem dziś w całem wychowaniu tak się rzecz przedstawia, że tylko bohaterowie wojenni życia bronią, ich tylko gloryfikuje historya, sławią poeci, przedstawiają malarze, ich stawia się za przykład do naśladowania i dzieciom, chodzić jeszcze nieumiejącym, przypina się szable i daje strzelby do ręki.

Młodociane, krewkie umysły, napojone od kolebki takiemi pojęciami, walki tylko szukają i utarczki wzajemne są na porządku dziennym.

Jedno zaglądnięcie do gmachu szkolnego odrazu wskazuje, jaki duch w nim panuje. Odrapane i powalane ściany, połamane ławki i stołki, zaśmiecona podłoga, podarte mapy i obrazy, potłuczona kreda i potargana gąbka, świadczą, że walka tu góruje ponad wszystko, tak, że nawet mówienie o innych sprawach w takiem otoczeniu zakrawałoby na ironię.

Praca do dziś jest za mało ceniona, a widok ciężko pracującego człowieka wywołuje pewien rodzaj pogardy, natomiast człowiek nie ze swej pracy żyjący, bywa otoczony szacunkiem i budzi uczucia zazdrości. Nie mamy uznania dla pracy cudzej, nie mamy też zamiłowania i przywiązania do własnej.

Praca nakłada niewątpliwie pęta, wymaga karności i ogranicza wrodzoną a tak silną chęć swobody i może dlatego ma ona u nas tak mało zwolenników.

Uważamy pracę za zło konieczne i nie ona jest warunkiem uzyskania sławy, dostojeństw, nawet dobrobytu. Podziwiamy raczej tych,

którzy talentem, sprytem i szczęściem doszli do stanowiska i majątku niż tych, którzy dopięli celu uczciwą pracą i wytrwałością.

Młodzież już dobrze o tem wie, że praca uznania nie znajduje.

Wszak bohaterowie uczniom przedstawiani są to przeważnie dzieci szczęścia, urodzenia, przypadku, tęgich plec swoich lub cudzych, a o ludziach pracy prawie się im nie wspomina. Dopóki w wychowaniu taki duch będzie panował, napróżno będziemy wymyślać środki, jak uczniów do pracy zachęcić. Pocóż ciągle się wysilać, kiedy jeden szczęśliwy traf wystarczy, by dobry byt osiągnąć a nawet zostać bohaterem.

Dotychczas w szkole tak się rzecz przedstawia, że przodkowie nasi nic nam w spuściźnie nie pozostawili, jak hasło

„Najwyższem życiem jest życie żołnierskie
„Najsłodszą śmiercią jest śmierć za ojczyznę.

I pocóż podniecać ciągle i u wszystkich ludzi ducha wojowniczości? Gdy wróg napadnie najdrobniejsze stworzenie, ono znajdzie w sobie dosyć odwagi, aby bronić siebie i swego gniazda. Znajdzie tę zdolność w sobie także człowiek w razie potrzeby bez wszelkiej nauki i nie tak trudno rozbudzić wojownicze instynkta, tkwiące w każdym człowieku.

Pouczać nas raczej trzeba, jak dla ojczyzny stale pracować, „by ją dźwignąć, uszczęśliwić, by nią cały świat zadziwić".

Dosyć jest codziennie sposobności do tego, by się ojczyźnie przysłużyć, by zostać bohaterem, trzeba to sobie jednak uświadomić, że większym bohaterem jest ten, kto całe życie wszystkiego sobie odmawiając, potrafi jedno dziecko wychować na pożytecznego członka społeczeństwa, niż kto w jednej godzinie zgładzi setki nieprzyjaciół.

Wychowanie powinno wpoić w młodzież przekonanie, że żmudna, codzienna twórcza praca zasługuje przedewszystkiem na uznanie, takie wzory powinno się jej przedkładać do naśladowania i do takiego bohaterstwa zachęcać.

Wychowanek dzisiejszej szkoły do takiego spokojnego, pracowitego życia zupełnie nie jest przygotowany. Gdy do walki z wrogiem niema sposobności, zajęcia wynaleźć sobie nie może, szuka zaczepki lub nudzi się i popada w odrętwienie, schodzi wreszcie na bezdroża. Ile zadowolenia znaleźliby tacy, gdyby ich nauczono, że oprócz walki istnieje także druga, ważniejsza strona życia — wzajemne popieranie.

Nie walka jednej warstwy społecznej z drugą powinna być myślą przewodnią w życiu, lecz wspólne ich pożycie.

Jeśli wszyscy wspólnie starać się o to będą, aby wszystkim było lepiej, a nie jednym tylko, jeśli każdy własną pracą przyczyni się do ogólnego dobra, to do obrony takiej ojczyzny nie trzeba sztucznie podniecać.

A pocóż młodzieży przedstawia się takie zwyrodniałe osobniki, jak Nero, Heliogabal, Kaligula i wielu wielu innych? Czy to, że ktoś był na tronie, prowadził tyle a tyle wojen i miał tyle a tyle dzieci,

133

już jest dostateczną podstawą, aby był czynnikiem wychowawczym? Nieugruntowana moralnie młodzież tylko się tem zaciekawia, roznamiętnia i podobnych przeżyć doznać usiłuje a odstraszająco nie działa to na nią wcale. Może wyliczanie całych szeregów panujących było potrzebne wówczas, gdy według ich nazwisk liczyło się czas i ze względu na chronologię nie można było żadnego opuścić, ale dziś?

Wypędzić trzeba precz ze szkoły całego dotychczasowego ducha wychowania, usunąć sławienie wojen i bohaterów wojennych a akcentować to, co ludzi uszlachetnia i do wzajemnego pożycia prowadzi, widzieć bohaterów nie w wojownikach, lecz w sumiennych pracownikach. Nie podnosić tak jak dotychczas wątpliwej wartości korzyści, jakie jedna wojna przyniosła a druga z powrotem zabrała, lecz przedstawiać straty, jakie cała ludzkość przez wojny poniosła, jakie chuci rozpętała, ile nieszczęść sprowadziła na całkiem niewinnych ludzi tak po stronie zwycięzców, jak zwyciężonych.

Zasada wzajemnego popierania się w życiu nie obcą jest ludzkości tak, jak nauce szkolnej, wiele przykładów budujących w tym względzie znaleźć można tak u ludów starożytnych jak w czasach nowszych. Jest ona wprawdzie jeszcze daleką od chrześcijańskiego ideału wzajemnego miłowania się, ale przecież stanowi krok naprzód. Ten krok miejmy odwagę zrobić w naszem wychowaniu.

Niespożytą zasługę zaskarbi sobie kto taką zmianę ducha w wychowaniu przeprowadzić potrafi, ten będzie prawdziwym bohaterem.

Oby szkoły polskie były w tym względzie przykładem dla innych!

Dr. Rudnicki. Jeżeli się gramatykę traktuje jako naukę reguł, zawartych w książce, to istotnie większa z tego szkoda, niż korzyść. Jednak na gramatykę trzeba się patrzeć jako na opis zjawisk językowych, zachodzących w świecie zewnętrznym i w naszej duszy. Język zaś jest zjawiskiem biologicznem, socyologicznem i psychicznem: zjawiska też z tych zakresów należy widzieć przy nauce gramatyki — oczywiście przy nauce przedewszystkiem gramatyki ojczystej [1]), ale nie wyłącznie. Przecież i nauka fizyki byłaby czemś bezsensowem, gdybyśmy poza sformułowanemi w podręczniku prawami, poza jego opisami nie widzieli zjawisk przyrody, ale tylko i jedynie papierowe twierdzenia podręcznika.

Tak samo się rzecz ma z gramatyką. Uwagi nad gramatyką w dzisiejszych referatach są dowodem, że źle Szan. referentów uczono gramatyki w szkole średniej; niezdawanie sobie przez nich sprawy z istoty rzeczy — nie jest ich winą.

Człowiek żyje obecnie przedewszystkiem w społeczeństwie, jego stosunek osobisty do przyrody naprawdę w życiu niewiele zajmuje miej-

[1]) Doc. Dr. Rudnicki kończy obszerną rozprawę o nauczaniu języka ojczystego (polskiego) w szkole średniej, gdzie omawia wartości wychowawcze, zakres, metody i całą dotychczasową literaturę tej nader ważnej sprawy wychowawczej. Prosi też Szan. Kolegów o nadsyłanie choćby listownie uwag, dotyczących tej bolączki naszego szkolnictwa. Autor nie omieszka z wdzięcznością wymienić tych którzy mu posłużą trafnemi uwagami. Adres: Rudnicki. Kraków. Senatorska 11. II.

sca. Niewątpliwą jest prawdą, że nauki przyrodnicze dają podstawę, na której się opiera stosunek całej ludności do przyrody, ale nietyle stosunek indywidualny. Fakt zaś, że jednostka przedewszystkiem jest cząstką społeczeństwa, wzywa do nauk społecznych jako nader ważnych, a jedną z najważniejszych nauk społecznych jest właśnie nauka o języku, co trzeba podkreślić w przeciwstawieniu do wyrażenia „gramatyka", bardzo skompromitowanego.

Dr. M. Lewicka (Kraków).

1. Zjazd T. N. S. W. uchwala na następnym zjeździe nauczycielstwa polskiego rozpatrzeć także sprawę reformy wychowania dziewcząt, w szczególności żeńskiej szkoły średniej.

2. Zjazd T. N. S. W. uznaje potrzebę przedstawicielstwa kobiet w składzie władz szkolnych.

Ks. dr. B. Szulc (Lwów).

Nauka języka powinna być nie tylko nauką streszczania i pisania — ale nauką myślenia — przez cały ciąg szkoły — w niższych klasach na gramatyce, a zwłaszcza w klasach wyższych na nauce logiki i psychologii powierzanej poloniście; ma być nauką mówienia przez wprowadzenie retoryki. (Nawiasowo prosił o rugowanie lektury Scherlocków i epizodów wojennych — pisanych źle po polsku i złych treścią — przez obfite dostarczanie lektury dobrej i pięknej).

Dyr. Missona (Brzesko).

Należy przesunąć naukę łaciny do kl. IV. a grekę usunąć z obecnych gimnazyów. Czas uzyskany użyć należy na gramatykę języka polskiego. W miastach stołecznych można zostawić po jednem gimnazyum klasycznem.

Dr. H. Witkowska (Kraków).

Zarząd Towarzystwa nauczycieli szkół wyższych zajmie się zaraz rozszerzeniem nauki historyi polskiej i rewizyą -podręczników historyi w szkołach średnich. Nauka dziejów porozbiorowych i statystyka ziem polskich winny być uwzględnione.

Prof. J. Gołębiowski (Lwów).

Nauka rysunków odręcznych jest obowiązującą we wszystkich klasach. Cel — a w związku z tym, tok i zakres nauki rysunków odręcznych ma być dwojakim: a) idealnym (ogólnie kształcącym) b) zastosowanym (wspomagającym wszystkie inne przedmioty naukowe).

Prof. L. Skoczylas (Lwów). Sekcya polonistów Koła lwowskiego:

Zjazd T. N. S. W. zwraca się do Rady szkolnej krajowej, aby w sprawie zmian pisowni proponowanych przez Akademię Umiej. ze względu na niepokonalne trudności dydaktyczne zajęła stanowisko samodzielne.

134

V. Referaty.

P. Machniewicz Stanisław (Lwów) przedstawił ważność „sztuki jako czynnika wychowawczego w szkole i w domu" w następujących punktach:

1. konieczność kształcenia zmysłu piękna w domu i w szkole;
2. środki i cele;
3. uzasadnienie założenia związku „Sztuka w szkole";
4. zarys jego organizacyi. Cele, drogi, środki

— poczem Zjazd uchwalił jego wniosek:

Zjazd członków T. N. S. W. uznając konieczność uwzględnienia sztuki w wychowaniu szkolnem i domowem postanawia powołać do życia związek, poświęcony krzewieniu tych haseł w teoryi i praktyce.

W tym celu Zjazd wybiera komisyę organizacyjną, której zadaniem będzie rzecz całą szczegółowo przedyskutować, obmyśleć środki wiodące do urzeczywistnienia jej — a następnie zająć się zorganizowaniem takiego związku.

*

Profesor Uniw. Jagiellońskiego St. Ciechanowski mówił na temat „Rola szkoły w walce z chorobami płciowemi".

Zbyteczna tu wyliczać groźne następstwa chorób płciowych dla dotkniętych niemi jednostek. Rzeczy to powszechnie znane. Natomiast ogół nie docenia jeszcze należycie niebezpieczeństwa zwyrodnienia, zagrażającego całemu społeczeństwu w razie nagminnego rozszerzenia się tych chorób, ani też nie zdaje sobie jeszcze dostatecznie sprawy z tego, jak łatwo i jak rychło może tlące już zarzewie rozgorzeć i pójść po kraju płomieniem. Przypomnę więc, że już dziś liczba chorych płciowo w armiach jest kilkakroć większa, niż była przed wojną; że demobilizacya, mimo wszelkich środków ostrożności, plagę tę rozszerzy i zwiększy możebność zakażenia zwykłą drogą; że już wśród naszej ludności zaczyna się niezwykły przyrost liczby chorych, zwłaszcza tam, gdzie były kilkakrotne dłuższe postoje wielkich armii. Przypomnę, że w razie rozpanoszenia się tych chorób krzewią się one łatwo, nieraz w rozmiarach przerażających, drogą sobie niezwykłą, a natomiast taką samą, jak inne choroby zakaźne: przez wspólne, należycie nie odkażone naczynia, bieliznę, łóżka i t. d., że w ten sposób szerzą się na całe rodziny, na drobną dziatwę.

Wszak w epidemiach w gubernii włodzimierskiej, kurskiej, czernihowskiej, tą właśnie drogą zakażało się nieświadomie 80 do 93% chorych! Przypomnę jeszcze, że zaraza może objąć dosłownie prawie całą ludność, bo, jak w gubernii czernihowskiej, do 95% mieszkańców, że i u nas na Huculszczyźnie chora jest w niektórych wsiach piąta, a nawet czwarta część ludności. Huculszczyzna jest zarazem przykładem, jak trudno wytępić raz zagnieżdżoną zarazę weneryczną — w przeciwieństwie do większości innych chorób zaraźliwych. Zaraza bowiem na Huculszczyźnie wzięła początek jeszcze od przejścia wojsk rosyjskich na Węgry w r. 1848, a pomimo wytężonej pracy, prowadzonej systematycznie przez lat dziesiątki, dotąd jej wytępić nie zdołano.

Stąd wniosek, że wobec chorób płciowych ma zapobieganie znaczenie jeszcze znacznie większe, niż w jakiejkolwiek innej chorobie zakaźnej. W akcyi zaś zapobiegawczej ma znów, ze względu na naturę i sposób szerzenia się tych chorób, ważne znaczenie ostrzeganie o niebezpieczeństwie. Dlatego też Wydział lekarski Uniwersytetu Jagiellońskiego wszczął jeszcze przed półtora rokiem pracę, prowadzoną obecnie przez oba Wydziały lekarskie w kraju i przez Powszechne Wykłady Uniwersyteckie lwowskie i krakowskie w postaci popularnych ostrzegawczych wykładów, pouczających o chorobach płciowych. Wykładów takich w całym kraju zorganizowaliśmy dotąd około 200, wśród nich jednak zbyt mało było wykładów dla dorastającej młodzieży.

A jednak tę właśnie młodzież trzeba szczególnie mieć na oku w dobie dzisiejszej, kiedy tak często brak jej opiekuńczej ręki ojcowskiej; kiedy tylu młodych chłopców, nie doszedłszy jeszcze zwykłego wieku abituryentów, staje w szeregach i w życiu żołnierskiem spotyka nieprzeczuwaną nieraz dotąd pokusę obok wszystkich niebezpieczeństw, jakie niesie życie gromadne na wojnie pod względem moralnym, jakie się piętrzą naokoło pod względem zdrowia fizycznego, pod względem zwłaszcza wszelkich zakażeń — wśród tak często jak najbardziej niehigienicznych warunków. Jeżeli tego kwiatu narodu nie ma zwarzyć podstępna, czająca się zaraza, jeżeli nie chcemy doczekać się degeneracyi fizycznej, moralnej i umysłowej jutrzejszego czoła społeczeństwa i dalszych pokoleń, to trzeba tę młodzież przygotować do walki z niebezpieczeństwem, tem większem, im

135

mniej znanem. Trzeba jej dać zbroicę nietylko hartownej woli, ale i wiedzy, trzeba ją uświadomić o całej grozie sprawy.

Z całym naciskiem zaznaczam, że nie chodzi tu o uświadomienie o życiu płciowem, stanowiące pod względem wychowawczym zagadnienie zawikłane i do dziś jeszcze sporne. Takie uświadomienie wcale nie jest potrzebne do tego, aby pouczyć i ostrzedz o **chorobach**, zwanych płciowemi. Tylko to drugie jest w dzisiejszej dobie potrzebne, nietrudno wykonalne, a pod względem wychowawczym niczem nie zagraża, jeśli jest odpowiednio wykonane.

Ideałem byłoby oczywiście pouczanie indywidualne. O takiem jednak możemy dziś myśleć niestety tylko w rzadkich przypadkach i nie będziemy go mogli osiągnąć, dopóki każda szkoła nie będzie miała lekarzy szkolnych, wykształconych zarówno specyalnie w zakresie swych zadań lekarskich, jak i nie obcych zadaniom i sposobom wychowania. Żywego słowa takiego lekarza-wychowawcy nie zastąpi całkowicie żadne słowo drukowane, żadna książka, której martwe wiersze nie dadzą odpowiedzi na dziesiątki pytań i wątpliwości, rodzących się w młodocianym umyśle. Jeżeliby więc dać w rękę nawet każdemu chłopcu rzecz tak doskonałą, jak „W imię Ojczyzny (Listy do syna), rady i wskazówki dla żołnierza polskiego“ dr. Mikołajskiego, to damy wprawdzie dużo, ale damy zawsze tylko surogat.

Zanim zaś będzie możebne ustne pouczanie indywidualne, nie można tej trudności rozwiązać inaczej, jak przez ustne pouczanie zbiorowe. Jestem głęboko przekonany, że najwłaściwsze byłyby tu pouczenia, włączone w ramy systematycznych godzin takiego n. p. przedmiotu, jak somatologia i hygiena i omawiające choroby płciowe łącznie z innemi chorobami zakaźnemi, ze szkodliwością alkoholu i t. p. I właśnie tutaj otwiera się wdzięczne zadanie dla wszystkich, miłujących młodzież, a mających dobro społeczeństwa na sercu, aby jaknajrychlej w każdej szkole średniej znalazło się miejsce na takie pouczenie, (według szkicu, czy zupełnego manuskryptu, zaaprobowanego przez grono), w zwykłym programie nauczania; aby młodzież usłyszała przestrogę z ust jak najpoważniejszych i od tych, którym szczególnie ufa i do których się garnie; aby wreszcie przestrogę tę kłaść

na fundamencie najwyższych obowiązków i najszlachetniejszych ideałów młodzieńczych.

Warunki dzisiejsze nie wszędzie pozwolą rzecz tę w tej formie rychło w czyn wprowadzić. To też na razie, tymczasowo, musimy uciec się do formy nie tak może dobrej, ale przy należytem wykonaniu przecież dopuszczalnej, to jest do osobnych, umyślnych wykładów, wygłaszanych przez lekarzy, nie należących do gron. Z pewnością i dziś jeszcze odezwą się tu i owdzie głosy — choć, tuszę, wyjątkowe — że ta forma pouczania jest zła, albo conajmniej ryzykowna. Kto jednak spojrzy w przepaść, otwierającą się przed całem społeczeństwem, ten, choćby nazwał takie pouczenia „malum", musi dodać — „necessarium", ten bez dalszego wahania wyciągnie rękę, aby młodzieży przepaść wskazać i przed nią ją zatrzymać. Zasłaniać jej oczy — jest taką odpowiedzialnością, jakiej nikt nie może wziąść na swoje sumienie.

Rada szkolna krajowa poddała w roku zeszłym rzecz wszechstronnym obradom z udziałem przedstawicieli medycyny, członków Wydziałów lekarskich. Wynikiem tych obrad był znany zapewne wszystkim tutaj okólnik z 10. grudnia 1916 L. 264/pr., zawierający szereg bardzo słusznych i trafnych wskazówek i zastrzeżeń co do umyślnych wykładów o chorobach płciowych. A więc takie pouczenia powinni wygłaszać tylko wytrawni prelegenci-lekarze, obznajomieni ze środkami i celami wychowania; plan pouczenia powinien być zaaprobowany przez grono, a dla każdego z uczniów potrzeba pozwolenia rodziców lub opiekunów. Zastrzeżenia te były konieczne zwłaszcza na początku, gdy rzecz nie była jeszcze wypróbowana; nie straciły one do dziś na znaczeniu. Doświadczenia, zebrane tymczasem w Krakowie, we Lwowie i w kilku miastach prowincyonalnych, pozwalają przystąpić śmielej i szerzej do działania w ramach, przez Radę szkolną zakreślonych.

W Krakowie przygotowaliśmy wykłady we wszystkich 9 zakładach, poprzedziwszy je zebraniem, na które zaprosiłem wszystkich kierowników zakładów, księży katechetów i upatrzonych prelegentów, a na którem przedstawiłem dokładny plan wykładu. Wykłady odbyły się w 8 zakładach, w każdym osobno, dla uczniów dwu końcowych klas, w ogólnej liczbie około 400; rodzice wszędzie udzielili pisemnego zezwolenia z wyjątkiem 4 czy 5

136

w jednym, a 2 w innym zakładzie. W jednym tylko zakładzie wykład musiał być odwołany, ponieważ żaden uczeń nie przyniósł zezwolenia. Na wykładach byli obecni bądź kierownicy zakładów, bądź ich zastępcy, bądź księża katecheci, gdzieniegdzie po kilku członków grona. Zewsząd otrzymaliśmy wyrazy zupełnego uznania, a nawet szczególne podziękowania; nigdzie nie podniesiono żadnego zarzutu ze stanowiska wychowawczego, lub szczególniej moralnego. Jeden z wykładów — dra H. Mojmira — wydaliśmy potem drukiem (nakładem Namiestnictwa); wykład ten zyskał też uznanie Rady szkolnej krajowej, która go w swym okólniku jako przykład zaleca. Wykłady odbyły się tylko w roku zeszłym; ponieważ teraźniejsi abituryenci już wtedy go wysłuchali, przeto nie było potrzeby ponawiać pouczenia w r. b. — Natomiast ponowi się je w roku przyszłym, o ileby tymczasem pouczenie nie weszło w ramy jednego z przedmiotów szkolnych.

Lwowskie Powszechne Wykłady uniwersyteckie, kierowane przez prof. Cieszyńskiego, zebrały dane o tegorocznych wykładach we Lwowie, ilustrujące wynik wykładów pod wielu względami. Dla 11 zakładów urządzono wykładów 6, łącząc gdzieniegdzie uczniów z 2 zakładów. Uczniów w odpowiednim wieku było w tych zakładach 347, z tych zaś przybyło na wykład 314 czyli 90·4%; z nieobecnych przypada 19, t. j. 5·3% na takich, którym nie pozwolili rodzice, — reszta 14, t. j. 4% nie przyszła z powodu choroby. Wśród słuchaczy 10 (2.9%) miało rok życia szesnasty, 61 (17·5%) rok siedemnasty, reszta osiemnasty lub powyżej. Podobnie, jak w Krakowie, byli na wykładach obecni kierownicy zakładów lub członkowie grona. Na prośbę prof. Cieszyńskiego nadesłali kierownicy zakładów pisemnie swoje uwagi i spostrzeżenia. Wszystkie bez wyjątku stwierdzają, że wykłady „były zupełnie odpowiednie“, że „odpowiadały wszelkim wymaganiom pedagogicznym“, że „były nadzwyczaj celowe“. W trzech zakładach stwierdzono w rozmowie z dobrze znanymi uczniami, że wykłady odniosły skutek zamierzony, że je młodzież przyjęła jak najpoważniej i że sposób przedstawienia rzeczy podniósł jej nastrój moralny, a w niczem nie przyniósł szkody. We wszystkich tak krakowskich, jak lwowskich zakładach zauważono, że młodzież słuchała wykładów z wielkiem skupieniem z największą powagą, bez przymieszki niezdrowej sensacyi. I we

Lwowie, jak w Krakowie, z większości zakładów dołączono szczególnie gorące podziękowania tak organizatorom wykładów, jak i prelegentom. — Nie inaczej też brzmią relacye z kilku miast prowincyonalnych, gdzie takie wykłady niedawno się odbyły.

Sądzę, że te wyniki powinny rozprószyć ostatek wątpliwości, jakie może jeszcze gdzieś utrzymują się ze stanowiska wychowawczego. I dlatego nie waham się przedstawić następujących wniosków:

1. Dopóki nie może być przeprowadzone indywidualne pouczanie uczniów najwyższych klas szkół średnich o chorobach wenerycznych, ani też pouczenie takie wspólnie z pouczeniem o innych chorobach zakaźnych objęte ramami obowiązkowych przedmiotów, należy usilnie starać się o urządzanie osobnych pouczeń przez lekarzy.

2. Pouczenia takie należy zastosować ściśle do wskazówek, zawartych w okólniku krajowej Rady szkolnej z d. 10. grudnia 1916. L. 264/pr., a wystarczy je urządzać dla uczniów klasy VI., VII. i VIII. razem, co dwa lata.

3. W każdej bibliotece nauczycielskiej powinny się znajdować: Przykład odczytu dla młodzieży, napisany przez dra H. Mojmira, broszura „Zdrowie społeczne, a choroby weneryczne“[1]), broszura prof. Łukasiewicza[2]), oraz broszura dra Mikołajskiego p. t. „Listy do syna“[3]).

4. Wszystkie Koła Towarzystwa nauczycieli szkół wyższych zajmą się zorganizowaniem w tym roku wykładów w tych zakładach, gdzie się jeszcze wykłady nie odbyły.

5. Broszurę dra Mikołajskiego należy rozszerzać między młodzieżą dorastającą, opuszczającą zakład.

6. Inne wydawnictwa popularne z tego zakresu mogłyby być rozszerzane tylko po zbadaniu i zaopiniowaniu przez komisyę, złożoną z wychowawców i lekarzy[4]).

---

[1]) i [2]) Obie przedrukowane w „Czasopiśmie pedagogicznem“.

[3]) Wykład dra Mojmira i broszurę „Zdrowie społeczne a choroby wen.“, można otrzymać bezpłatnie z Departamentu sanitarnego Namiestnictwa, broszurę dra Mikołajskiego od Zarządu Powszechnych Wykładów uniwersyteckich lwowskich, Lwów, Zielona 5 a.

[4]) Komisya taka utworzona została w r. z. przez Radę szkolną krajową; z lekarzy należą do niej dr. Wł. Łukasiewicz, prof. uniw. lwowskiego, dr. Szcz. Mikołajski, dr. A. Kuhn, krajowy inspektor sanitarny i autor niniejszego.

137

BIURO SZKOLNICTWA POLSKIEGO powstanie w ciągu sierpnia w Krakowie, jako wykonanie jednomyślnej uchwały Zjazdu członków Tow. naucz. szkół wyższych w dniu 27. maja br.

Zadaniem Biura będzie: wytwarzanie i utrzymywanie łączności zrzeszeń nauczycielskich i poszczególnych osób zwłaszcza pracujących naukowo na polu pedagogii, pośredniczenie w sprawach szkolnych i wychowawczych, ogniskowanie prac i utrzymywanie w ewidencyi stanu i stosunków we wszystkich dziedzinach szkolnictwa i pedagogii, gromadzenie dokumentów do szkolnictwa i organizacyi i informowanie ogółu nauczycielstwa o najważniejszych sprawach przez wydawanie biuletynu biura.

Kierownictwo Biura zwraca się do *wszystkich zrzeszeń nauczycielskich polskich* i do tych *osób, którym sprawy wychowania narodowego* leżą na sercu z prośbą, by zechciały celem nawiązania stosunków nadsyłać swoje adresy i wszystkie dane dotyczące zakresu i sposobu działalności jak najrychlej na ręce prowadzącego biuro prof. dra Karola Dawidowskiego w Krakowie (Basztowa 1).

Biuro prosi wszystkie dzienniki polskie o przedrukowanie powyższego zawiadomienia.

Fundusz im. Ad. Mickiewicza.

W czerwcu złożyli: prof. Eug. Kosiński od Koła T. N. S. W. w Rzeszowie 7 K, prof. Tadeusz Kaniowski od grona nauczycieli szkoły realnej w Jarosławiu za 1. II.—30. VI. 1917 r. 12 K, prof. Ludwik Kita od grona gimn. w Dębicy 3 K, J. Cz. na pokrycie należytości manipulacyjnej 1 K 52 h, i prowizyi Poczt. Kasy Oszcz. 0·19 h. razem 1 K 71 h., prof. Zdzisław Palinowski od grona I. szkoły realnej we Lwowie 16 K 40 h., prof. Adolf Kamiński skarbnik od Koła T. N. S. W. w Nowym Targu 18 K 20 h., Koło Towarzystwa Nauczycieli Szkół Wyższych w Przemyślu 10 K 80 h., prof. Karol Nikiel od grona nauczycielskiego gimn. I. w Nowym Sączu 10 K 80 h., Grono nauczycielskie gimn. II. w Nowym Sączu 10 K, Koło Towarzystwa Nauczycieli Szkół Wyższych w Gródku Jagiellońskim 4 K 40 h., półroczny procent książeczki l. 126.292 G. K. O. 51 K 54 h., półroczny procent książeczki l. 159.020 G. K. O. 11 K 40 h., półroczny procent książeczki l. 29.278 G. K. O. 83 K 90 h., prof. Jan Bobka od grona gimn. II. w Tarnowie 20 K 80 h. — Odsetki za II. półrocze r. z. i za I. półrocze r. b. od kwoty, pożyczonej T. N. S. W. na kupno gruntu 2.110 K, razem 53 597 K 05 h.

Dnia 1. lipca przyznano najbardziej potrzebującym wdowom i sierotom po nauczycielach szkół wyższych a członkach Towarzystwa 26 stypendyów po 100 K razem 2.600 K, które odjąwszy od powyższej kwoty, otrzymamy jako stan fundacyi z dniem dzisiejszym 50.997 K 05 h.

We Lwowie dnia 1. lipca 1917.

W imieniu Zarządu głównego

Józef Czernecki

ul. Augusta Bielowskiego l. 1.

KSIĄŻNICA POLSKA

Towarzystwa nauczycieli szkół wyższych

Lwów, ulica Małeckiego 5. Kraków, ulica Franciszkańska 1.

poleca nowość:

A. BRÜCKNER

WALKA O JĘZYK

Cena 7 Koron.

Dzieło to dzieli się na trzy części: dwie pierwsze z nich „Walka z cudzoziemszczyzną" i „Wady naszej pisowni" mają charakter przeważnie praktyczny, podają bowiem rady, dotyczące rugowania wyrazów obcych i zastępowanie ich odpowiednimi polskimi i roztrząsają tak aktualną obecnie sprawę pisowni. Część trzecia natomiast, nosząca tytuł: „Wyrazy obce i ich znaczenie" będąca nowem do obecnego stanu nauki przystosowanem wydaniem znakomitej książki „Cywilizacya i język" otwiera przed czytelnikiem całe skarby „czystej" nauki i zaznajamia w sposób mistrzowski z metodą i wynikami tej cudownej gałęzi wiedzy, jaką jest nowożytne językoznawstwo, które z brzmienia banalnych na pozór słów odtwarza cechy kulturalne zamierzchłych epok historycznych. Ta zwłaszcza część dzieła prof. Brücknera zasługuje ze wszech miar na jak największą popularność.

Członkowie T. N. S. W. otrzymują 20% opustu!

Dział Komisowej sprzedaży rozpraw naukowych Członków „KSIĄŻNICY POLSKIEJ" T. N. S. W.

otrzymał w dalszym ciągu na skład:

Lewicki Józef. Praktyczne nauczanie geografii w szkołach średnich. Suggestye dydaktyczne. Sambor 1912. Str. 30 . . K. 1·—

— — Geografia za czasów Komisyi edukacyjnej, pierwszego w Europie ministeryum oświaty. Lwów-Warszawa 1912. Str. 49 . . . . „ 1·50

— — Z tajemnic filomackich. (Biblioteka filomacka. Ser. I. Tom I.) Kraków-Warszawa 1917. Str. 48 . . . . „ 1·20

— — Nowe szkoły w Anglii, Francyi, Niemczech i Szwajcaryi, ich geneza i organizacya. Szkic z podróży z 13 ryc. i 6 tabl. Lwów-Warszawa 1908. Str. 77 . . . . „ 2·50

— — Bibliografia druków odnoszących się do Komisyi edukacyi narodowej, pierwszego w Europie ministeryum oświaty. Lwów-Warszawa 1908. Str. 176 . . . . „ 3·—

Machniewicz Stanisław. Wpływ Dantego na twórczość Słowackiego w latach 1836—1839. Studyum porównawcze. Lwów 1913. Str. 23 . . . . „ 1·50

Szczegółowe katalogi darmo i opłatnie.

Adres: Książnica polska T. N. S. W. Lwów Małeckiego 5. Kraków Franciszkańska 1.

M. Schreiber i E. Piasecki

HARCE MŁODZIEŻY POLSKIEJ

Na podstawie dzieła Gen. Baden-Powella p. t. Scouting for Boys. Wyd. 2. Lwów 1917. Nakładem Książnicy polskiej T. N. S. W. Cena K 2·80.

Do nabycia w każdej księgarni

oraz w Książnicy polskiej T. N. S. W.

we Lwowie, ul. Małeckiego 5. w Krakowie, ul. Franciszkańska 1.



Książnica polska Tow. nauczycieli szkół wyższych.

Lwów, Małeckiego 5. — Kraków, Franciszkańska 1.

poleca:

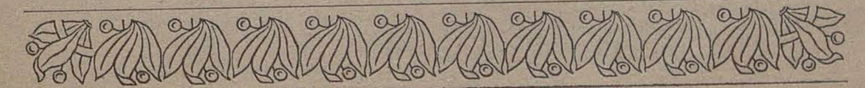
Prof. E. Romer:

WOJENNO-POLITYCZNA MAPA POLSKI

Cena 1 K.

„Wojenno-polityczna mapa Polski winna stać się istotnie rozpowszechnioną w najszerszych kołach, jak tego pragnie Tow. nauczycieli szkół wyższych — pamiątką wielkodusznego manifestu z 5. listopada 1916 r. Zwłaszcza młodzież niech się w nią pilnie wczytuje, a przemówi ona do niej pełnym głosem, który obok wspomnień przesławnej przeszłości, wieścić będzie przyszłość promienną, wynurzającą się z oparów i dymów obecnej zawieruchy światowej“. (Gazeta lwowska z 29. XII., 1917).

Do nabycia w każdej księgarni.



Zaszczycony wybitnem uznaniem wys. c. k. Rady szkolnej krajowej.

Założony w roku 1893.

JEDYNY KRAJOWY WYTWÓRCZY

ZAKŁAD ŚRODKÓW NAUKOWYCH

F. M. ZŁOTNICKIEGO

LWÓW PASAŻ HAUSMANA L. 8.

poleca z własnej pracowni

preparaty zoologiczne:

Simia troglodytes med.		K 200·—
dtto	Kościec	„ 200·—
Argus giganteus		„ 150·—

Do szybkiego badania jakości powietrza według wskazówek WPana dyrektora Br. Duchowicza

przyrząd Dr. Wolperta kompl.	K 12·—
wahadło Maxwella	„ 20·—

etc.

prócz powyższych wszelkie środki naukowe z dowolnych źródeł.

t. VII 133
7428
s. 132-
-137

(0)

Die Naturwissenschaften

Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik

Begründet von Dr. A. Berliner und Dr. C. Thesing.

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und **Prof. Dr. August Pütter**

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9.

Heft 50. 14. Dezember 1917. **Fünfter Jahrgang.**

10. str. 738—740 (tylko)

INHALT:

Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig

Das menschliche Gehirn
nach seinem Aufbau und seinen wesentlichen Leistungen
gemeinverständlich dargestellt von Dr. phil. et med. **R. A. Pfeifer**
Zweite, vermehrte Auflage
Mit 83 Abbildungen im Text; VII und 103 S. Lex.-8⁰. Gebunden M. 4.20

Aus den Besprechungen:
„Diese monographische Darstellung des Gehirns ist eine ganz vorzügliche Leistung. Sie gibt ein abgerundetes Bild von dem Zentralorgane, das der Sitz alles geistigen Geschehens ist, erklärt seinen komplizierten Bau, beleuchtet seine wechselnden Funktionen, wobei sie auch einen Blick tun läßt in die in den Werkstätten der Wissenschaft geübten Methoden der Forschung."
Pädagog. Jahresbericht 1911.

Die geopsychischen Erscheinungen
Wetter, Klima und Landschaft in ihrem Einfluss auf das Seelenleben
dargestellt von **Willy Hellpach**
Dr. phil. et med., a. o. Professor der Psychologie in Karlsruhe
Zweite, vermehrte und durchgesehene Auflage
Mit 2 Tafeln; XXI u. 489 S. gr.-8⁰. Geheftet M. 14.—; in Leinen gebunden M. 16.—

Aus den Besprechungen:
„. . . welch ein neuer, überaus reichhaltiger und mannigfaltiger Stoff in des Verfassers Buche verarbeitet, wieviel an Anregung und Belehrung, übrigens in der angenehmsten und fesselndsten Weise, daraus zu holen ist."
Neurologisches Centralblatt.

Ausführliches Verzeichnis der in meinem Verlage erschienenen 195 Bändchen
Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften
erhalten Interessenten auf Verlangen kostenlos zugesandt.

Mein Jubiläumskatalog 1811—1911
mit 12 Tafeln, 10 Faksimilebeilagen und einem Stammbaum (II, 118 und 447 S. gr.-8⁰) nebst Jahresnachträgen 1912—1916 steht gegen Voreinsendung des Paketportos kostenlos zur Verfügung.

Verlag von GUSTAV FISCHER in JENA

Geeignetes Weihnachtsgeschenk für unsere Feldgrauen.

Vierte Auflage

Soeben erschien:

Vierte Auflage

Die Physik im Kriege.

Eine allgemein verständliche Darstellung der Grundlagen moderner Kriegstechnik

Von **Felix Auerbach.**

Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit 126 Abbildungen im Text. — **Preis: 4 Mark, geb. 5 Mark 20 Pf.**

Inhalt: Vorwort — Inhaltsverzeichnis — Einleitung — Aufklärung und Handlung — Das Ohr im Kriege — Erhellung des Raumes — Scheinwerfer — Leuchtraketen — Leuchtturm — Vergrößerung — Fernrohr — Feldstecher — Scherenfernrohr — Hypoplast — Mikroskop — Umleitung der Lichtstrahlen — Periskop — Meßkunst — Entfernungsmesser — Richten und Zielen — Zielfernrohre — Tripelspiegel—Topographie und Photographie — Karten und Pläne — Photographien aus der Luft — Stereokomparator — Röntgenstrahlen — Augengläser — Zeichengebung — Akustische Signale — Optische Signale

. . . . **Sendet das vortreffliche Buch ins Feld.** (Prometheus.) . . . . . **Man liest das Buch von Anfang bis zu Ende wie eine spannende Geschichte.** (Frankfurter Zeitung.) . . . . . **Jeder Gebildete wird mit hohem Genuß und mit Vorteil das Büchlein lesen.** (Literar. Zentralblatt.)

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig

Neu erschienen:

Professor Dr. R. Demoll

Die Sinnesorgane der Arthropoden

ihr Bau und ihre Funktion

VI, 243 S. gr. 8⁰. — Mit 118 Abbildungen. — Geheftet M. 10.—; gebunden M. 12.—

Professor Dr. K. Escherich

Die Ameise

Schilderung ihrer Lebensweise

Zweite verbesserte und vermehrte Auflage

XVI, 348 S. gr. 8⁰. — Mit 98 Abbildungen. — Geheftet M. 10.—; gebunden M. 12.—

Hermann von Helmholtz:

Zwei Vorträge über Goethe

(Goethes naturwissenschaftliche Arbeiten
Goethes Vorahnungen kommender naturwissenschaftlicher Ideen)

Herausgegeben von **W. König**

Feldausgabe in Taschenformat. Steif broschiert M. —.80

140

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Fünfter Jahrgang. 14. Dezember 1917. Heft 50.

Marian v. Smoluchowski.

Von Albert Einstein, Berlin.

Am 5. September wurde uns einer der feinsinnigsten zeitgenössischen Theoretiker jäh durch den Tod entrissen — *M. v. Smoluchowski.* Eine Dysenterieepidemie raffte in Krakau den erst 45-jährigen dahin.

Smoluchowskis wissenschaftliches Ringen galt der Molekulartheorie der Wärme. Insbesondere war sein Interesse auf diejenigen Konsequenzen der Molekularkinetik gerichtet, welche vom Standpunkt der klassischen Thermodynamik aus nicht verstanden werden können; denn er fühlte, daß nur von dieser Seite her der starke Widerstand zu überwinden war, den die Zeitgenossen am Ende des 19. Jahrhunderts der Molekulartheorie entgegenstellten.

Derselbe skeptische Geist, welcher die Elektrodynamik mächtig förderte, indem er sie von unzweckmäßigen mechanischen Bildern reinigte, hemmte zugleich die Entwicklung der Wärmelehre. Nachdem es den Physikern bewußt geworden war, daß eine Theorie allen Anforderungen der Klarheit und Vollständigkeit genügen könne, ohne auf Mechanik gegründet zu sein, lehnten sie auf allen Gebieten der Physik mechanische Theorien überhaupt ab. So begreift man, daß *Boltzmann* im Jahre 1898 im Vorwort zum zweiten Teil seiner „Vorlesungen über Gastheorie" bekümmert niederschrieb: „Es wäre meines Erachtens ein Schaden für die Wissenschaft, wenn die Gastheorie durch die augenblicklich herrschende, ihr feindselige Stimmung zeitweilig in Vergessenheit geriete, wie z. B. einst die Undulationstheorie durch die Autorität *Newtons*."

Schon in dieser Vorrede ist auf die im gleichen Jahre erschienene theoretische Arbeit *Smoluchowskis* über den Temperatursprung zwischen Wand und Gas bei der Wärmeleitung in sehr verdünnten Gasen hingewiesen. Diese von *Kundt* und *Warburg* schon 23 Jahre früher entdeckte Erscheinung lieferte in der Tat ein starkes Argument für die Molekularkinetik; denn wie sollte ein mit der Verdünnung des Gases wachsender Temperatursprung zwischen Wand und Gas ohne Zuhilfenahme des der klassischen Wärmelehre fremden Begriffes der freien Weglänge befriedigend gedeutet werden?

Um die Überzeugung der Gegner zu wandeln, bedurfte es aber eines noch schlagenderen Beweises. Die Existenz jenes Temperatursprunges war ohne die Kinetik zwar kaum zu begreifen, aber die Realität einer Wärmebewegung konnte aus diesem Phänomen nicht direkt gefolgert werden. Erst in den Jahren 1905—1906 gelangte die kinetische Wärmetheorie zu allgemeiner Anerkennung durch den Nachweis, daß die längst entdeckte Wimmelbewegung mikroskopisch kleiner, in Flüssigkeiten suspendierter Teilchen, die Brownsche Bewegung, durch diese Theorie quantitativ erklärt wird. *Smoluchowski* lieferte eine besonders schöne und anschauliche Theorie dieser Erscheinung, indem er von dem Äquipartitionssatz der Kinetik ausgeht. Dieser verlangt, daß ein Teilchen von 1 μ Durchmesser (und der Dichte des Wassers) sich in Flüssigkeit bei thermodynamischem Gleichgewicht mit einer mittleren Momentangeschwindigkeit von etwa 3 mm pro Sekunde bewegt; indem *Smoluchowski* quantitativ formuliert, daß diese Geschwindigkeit durch innere Reibung beständig vernichtet, durch unregelmäßige Molekularstöße immer wieder hergestellt wird, gelangt er zur Erklärung des Phänomens.

Durch die Erkenntnis vom Wesen der Brownschen Bewegung war plötzlich jeder Zweifel an der Richtigkeit der Boltzmannschen Auffassung der thermodynamischen Gesetze geschwunden. Es war klar, daß es ein thermodynamisches Gleichgewicht genau genommen überhaupt nicht gibt, daß vielmehr jedes dauernd sich selbst überlassene System um den Zustand des idealen thermodynamischen Gleichgewichtes in unregelmäßigem Wechsel pendelt. Da jedoch, wie die allgemeine Theorie zeigt, jene Schwankungen nur gering sind, so müssen sie sich unserer Beobachtung im allgemeinen entziehen. Es gelang aber *Smoluchowski* im Jahre 1908, eine zweite Gruppe von beobachtbaren Phänomenen zu finden, in welchen jene Schwankungen fast unmittelbar zur Wirkung kommen, nämlich bei der Opaleszenz von Gasen und von Flüssigkeiten in der Natur des kritischen Zustandes. Je kompressibler nämlich eine Substanz bzw. ein Mischungsbestandteil einer solchen ist, desto größer sind die örtlich-zeitlichen Schwankungen, welche die Dichte in unablässigem Wechsel infolge der Unregelmäßigkeit der Wärmebewegung erfahren muß; *Smoluchowski* erkannte, daß diese Schwankungen eine optische Trübung der Substanzen im Gefolge haben müssen, die sich auf Grund der allgemeinen Theorie berechnen läßt. Auch das schon von Lord *Rayleigh* erklärte Blau des Himmels gehört in diese Erscheinungsgruppe und beweist die Existenz räumlicher Dichteschwankungen in der Luft.

Smoluchowskis übriger wissenschaftlicher Arbeiten kann hier im einzelnen nicht gedacht werden. Es sei aber an die beiden vortreff-

Die Naturwissenschaften, V. Jahrgang, pp. 738–740. Dezember 1917.

lichen, in der Phys. Zeitschr. veröffentlichten Vortragszyklen erinnert, die er 1913 und 1916 — eingeladen von der kgl. Gesellschaft der Wissenschaften — in Göttingen gehalten hat; sie geben eine schöne Übersicht über die Lebensarbeit des uns leider so früh Entrissenen. Alle, die *Smoluchowski* persönlich genauer kannten, liebten in ihm nicht nur den geistreichen Forscher, sondern auch den edlen, feinsinnigen und wohlwollenden Menschen. Die Weltkatastrophe der letzten Jahre erweckte in ihm kein anderes Gefühl als namenlosen Schmerz über die Roheit der Menschen und die Schädigung unserer kulturellen Entwicklung. Zu früh hat das Schicksal sein segensreiches Wirken als Forscher und Lehrer abgeschnitten; wir aber wollen sein Vorbild und seine Werke hochhalten!

skład

X.

Karl Olszewski — ein Gelehrtenleben.

~~Von Prof. Dr. M. von Smoluchowski †, Krakau.~~

antykwą spacyów

Inmitten des welterschütternden Kriegsgetöses ist ein Ereignis fast unbemerkt vorübergegangen, welches zu anderen Zeiten wohl in der ganzen Kulturwelt einen lebhaften Widerhall geweckt hätte: der Tod *K. Olszewskis*. Das stille Ende eines Gelehrtenlebens blieb unbeachtet von den Tagesblättern, schien es doch bedeutungslos im Vergleich mit den Hekatombenopfern, welche den Werdegang der Geschichte unserer Tage ewigem Angedenken überliefern. Aber auch *Olszewskis* Name wird in der Geschichte weiterleben — allerdings nicht in der politischen, sondern in der Kulturgeschichte — und zwar als ein Markstein in der Entwicklung der Wissenschaft, als Zeugnis für polnische Gelehrtentätigkeit.

Die historische Tat *Olszewskis*, durch welche sein Name untrennbar mit jenem *Wróblewskis* verknüpft ist, war bekanntlich die Verflüssigung der Luft. Mancher Fernerstehende wird sogar erstaunt sein, zu hören, daß einer der beiden Krakauer Gelehrten bis jetzt gelebt hat, von denen er seinerzeit, noch auf der Schulbank sitzend, gehört hatte. In der Tat sind es zwar nur 32 Jahre her, aber so groß ist der Weg, den der Fortschritt seitdem wieder zurückgelegt hat, daß uns jene Dinge heute wie das ABC der Wissenschaft erscheinen.

Seinerzeit war es aber eine ganz sensationelle Entdeckung, welche um so mehr Aufsehen erregte, da sie in einer abseits vom großen Tagesgetriebe liegenden Stadt und mit relativ primitiven Mitteln ausgeführt wurde, und welche sogar den Chauvinismus gewisser ausländischer Kreise soweit reizte, daß deren gänzlich unbegründete Prioritätsreklamationen einen lebhaften, in Flugschriften und Tagesblättern ausgetragenen Streit entfesselten. Die Verflüssigung der sogenannten „permanenten" Gase war ja ein klassisches Problem geworden, um dessen Lösung sich die besten Fachmänner, *Natterer* in Wien, *Cailletet* und *Berthelot* in Paris, *Andrews* in Glasgow, *Pictet* in Genf, vergeblich bemühten.

Am weitesten war noch *Cailletet* gelangt, welcher stark komprimierte Luft durch flüssiges Äthylen bis -105^{0} abkühlte und während des Entspannens derselben das Entstehen von Tröpfchen und ein lebhaftes Wallen der halb flüssigen, halb gasförmigen Masse bemerkte. War hierdurch wohl erwiesen, daß sich die Luft überhaupt verflüssigen lasse, so führte doch der von *Cailletet* eingeschlagene Weg nicht zur Beantwortung der Frage, auf welche Weise dies anzustellen sei, da die Kondensationserscheinungen beim Entspannen nur von momentaner Dauer waren. Erst wenn gelingen würde, die Luft als tropfbare Flüssigkeit dauernd zu erhalten, sie im „statischen Zustand" zu verflüssigen — wie sich der berühmte Chemiker *Berthelot* ausdrückte —, wäre das Problem gelöst, und könnte man sodann die Eigenschaften der flüssigen Luft studieren und sie weiter als Kältemittel gebrauchen.

Dies gelang nun den beiden polnischen Forschern (1883) durch Anwendung eines kleinen, aber entscheidenden Kunstgriffs: durch Verdampfung des flüssigen Äthylens im Vakuum, wodurch eine noch um 47^{0} tiefere Temperatur erzeugt wird als jene, von welcher *Cailletet* ausging. Hiermit war die sogen. kritische Temperatur der Luft erreicht; Sauerstoff und bald darauf auch Stickstoff und Kohlenoxyd wurden so zum ersten Mal als klare wasserähnliche Flüssigkeiten erhalten, und so war der große Schritt getan, welcher nun eine Ausdehnung der Forschungen über tiefe Temperaturen auf ein ganz neues, früher unzugängliches Gebiet ermöglichte.

Man hat später mitunter darüber debattiert, welchem der beiden Gelehrten dabei das größere Verdienst zukam — wohl eine müßige und nicht entscheidbare Frage. *Wróblewski* war vorher seit längerer Zeit mit Untersuchungen über verwandte Fragen aus der Physik der Gase beschäftigt gewesen, hatte in Paris die von *Cailletet* öffentlich demonstrierten Versuche gesehen und hatte sich auch die von letzterem benutzte Kompressionspumpe angeschafft und nach Krakau mitgebracht. Andererseits hatte sich *Olszewski* als Assistent des Chemieprofessors *Czyrniański* mit der Verflüssigung von Kohlensäure und anderen Gasen mit Hilfe einer alten *Natterer*schen Kompressionspumpe vertraut gemacht, die von ihm neu hergerichtet worden war. Wie so oft in solchen Fällen, mag gerade das Zusammenkommen der zwei Männer verwandter Bestrebungen für die Wahl der gemeinschaftlichen Forschungsrichtung und für den schlagenden Erfolg bestimmend gewesen sein. Die Mitarbeiterschaft war übrigens nur von kurzer Dauer — es scheinen die zwei Charaktere zu verschieden gewesen zu sein.

Interessant ist überhaupt der Vergleich dieser beiden Persönlichkeiten. *Wróblewski* war ein Feuergeist, voll Unternehmungslust und kühner

Nazwiska nie kursywą, lecz (jak zawsze) antykwą spacyowane

Projekte, von energischem, vielleicht auch etwas herrischem Wesen. In seinem leider so kurzen, 41jährigen Leben, von dem noch fünf Jahre auszulöschen sind, die er wegen Teilnahme an dem polnischen Aufstand von 1863 in Rußland und Sibirien in der Verbannung verbringen mußte, hatte er es verstanden, sich aus dürftigen Verhältnissen emporzuarbeiten, auf seinen Studienreisen persönliche Beziehungen zu den bedeutendsten Gelehrten Deutschlands und Frankreichs anzuknüpfen, das physikalische Institut in Krakau einer gründlichen Reform zuzuführen und sich in ganz Europa durch seine Leistungen den Ruf eines ganz erstklassigen Physikers zu erringen.

Olszewski dagegen war ein vollkommener Repräsentant desjenigen Gelehrtentypus, welchen *Ostwald* den „Klassiker" nennt: ein langsam, aber beharrlich und methodisch in einer gegebenen Richtung arbeitender Forscher, der nie etwas Unreifes publiziert, nie sich durch andere Probleme, mögen sie auch noch so interessant scheinen, von dem Wege abbringen läßt, welcher ihn dem einmal erwählten Ziele entgegenführt. Charakteristisch ist die Tatsache, daß seine sämtlichen wissenschaftlichen Arbeiten (39 an der Zahl, abgesehen von gelegentlichen Kleinigkeiten) sich auf die Verflüssigung der Gase beziehen. Dieses Gebiet beherrschte er als souveräner Fachmann, andere Gegenstände mochten ihn interessieren, aber sie verlockten ihn nicht. Dabei verstand er seine Sache wie ein Soldat, welcher von der Pieke auf gedient hat. Denn der Mangel an entsprechenden Hilfsarbeitern, geschickten Mechanikern und technischen Hilfsmitteln in Krakau nötigte ihn, selber Metalldrehen, Löten, Gasblasen u. dergl. zu lernen, und zwar alles das besser zu lernen, als es sonst irgend jemand in Krakau zu tun verstand. Seiner manuellen Geschicklichkeit und seiner experimentellen Intuition verdankte er auch größtenteils seine Erfolge. Die ausgezeichneten Luft- und Wasserstoffverflüssigungsapparate, welche bis heute in- und ausländische Anstalten von dem Krakauer Mechaniker *Grodzicki* beziehen, sind Kopien der von *Olszewski* eigenhändig gebauten Apparate. Wie viel Arbeit, wieviel Zeit ging jedoch auf die Überwindung solcher Schwierigkeiten verloren, welche nur durch die Dürftigkeit der Hilfsmittel und durch die lokalen Verhältnisse verursacht waren und von welchen man in ausländischen Forschungsstätten keinen Begriff hat. Wie weit mehr noch hätte dieser Forscher leisten können, wenn ihm reichere Mittel zu Gebote gestanden hätten.

Doch kehren wir zur Schilderung des weiteren Lebenslaufes der beiden Forscher zurück. Nach Auflösung der Mitarbeiterschaft verblieben sie einige Jahre hindurch in regem Wettbewerb, indem sie unabhängig voneinander ihre Arbeiten weiterführten, wobei es ihnen unter anderem gelang, auch den Wasserstoff, wenigstens im dynamischen Zustand zu verflüssigen, bis plötzlich im Jahre 1888 die beklagenswerte Katastrophe erfolgte, welcher *Wróblewski* zum Opfer fiel, ein durch Umwerfen einer Petroleumlampe hervorgerufener Brand; von nun an verblieb *Olszewski* als alleiniger Repräsentant einer Glanzperiode, auf welchem nicht nur der Ruhm, sondern auch die Pflicht einer Weiterführung jener Arbeiten im bisherigen Sinne lastete.

Dieser Aufgabe ist er in vollem Maße gerecht geworden, indem auch diese zweite Periode seiner Tätigkeit eine Reihe höchst bedeutender Leistungen aufzuweisen hat, wie die Bestimmung der Inversionstemperatur für Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff, Bestimmung der kritischen Temperatur des Wasserstoffes, Verflüssigung des Argons u. a. An Popularität reichten dieselben allerdings an die — bereits erfolgte — Lösung des Hauptproblems nicht heran, doch ward ihre Bedeutung von Männern der Wissenschaft gebührend eingeschätzt.

Nachdem *Linde* und *Hampson* im Jahre 1895 ein neues, sehr praktisches Prinzip der Luftverflüssigung eingeführt hatten, das auf der Abkühlung durch „innere Arbeitsleistung" beruht, gelang es dem Engländer *Dewar*, auf diese Weise auch den Wasserstoff in statischem Zustand zu verflüssigen. Hierin kam er *Olszewski* zuvor, doch erwies letzterer seine Meisterschaft durch Vervollkommnung der von *Dewar* geheim gehaltenen Methoden und durch deren praktische, für Laboratoriumszwecke angepaßte Ausbildung.

Es blieb schließlich auf diesem Gebiete noch ein ungelöstes Problem übrig: die Verflüssigung des im Jahre 1895 als Bestandteil gewisser radiumhaltiger Mineralien neuentdeckten Gases Helium. *Olszewski* konnte dieselbe trotz Anwendung aller Hilfsmittel, über die er verfügte, nicht erzwingen und er schloß, daß Helium eine so niedrige kritische Temperatur und so geringen kritischen Druck besitze, daß hier weder das früher bei Luft angewandte Verfahren, noch die Methode der Entspannung zum Ziele führen könne. Um aber die Versuche nach dem *Linde-Hampson*schen Prinzip auszuführen, dazu reichten die Mittel seines Laboratoriums, insbesondere auch die Quantitäten Helium, die er besaß, nicht aus. So wurde denn diese Tat erst im Jahre 1908 in dem großartig angelegten Kältelaboratorium von Prof. *Kamerlingh-Onnes* in Leyden vollbracht, einer Anstalt, welche in den letzten Jahren die führende Rolle auf dem Gebiet der tiefen Temperaturen errungen hat.

Die Ärmlichkeit der Mittel und der Mangel an befähigten Hilfsarbeitern war überhaupt das größte Hindernis, welches die volle Entfaltung seiner Fähigkeiten hemmte; das zweite, welches in dem letzten Jahrzehnt seiner Arbeitskraft in wachsendem Maße Zügel auferlegte, war seine zunehmende Kränklichkeit. Glück, im populären Sinne des Wortes, war ihm überhaupt wohl wenig beschieden gewesen. Seine Kindheit war von

den Schatten des polnischen Bauernaufruhres vom Jahre 1846 umdüstert: die aufgereizten Bauern hatten das seinen Eltern gehörige Landgut Broniszów verwüstet, seinen Vater erschlagen und nur mit Mühe hatte man das wenige Monate alte Kind vor ihnen verborgen, das sonst wohl dem gleichen Schicksal anheimgefallen wäre. So wuchs er als Waise bei Verwandten auf und so schritt er auch späterhin alleinstehend, einsam, freudlos durchs Leben. Seine einzige Liebhaberei, welche er auch später aufgab, war die Blumenzucht.

Da er im Gebäude des chemischen Instituts wohnte, daselbst Vorlesungen hielt und seinen Arbeitsraum hatte, kam es oft vor, daß er viele Monate hindurch nicht ausging, und man war in den letzten Jahren schon daran gewöhnt, daß Prüfungen und Fachsitzungen in seiner Wohnung stattfinden mußten. Viele hielten ihn wohl für einen Sonderling und eingebildeten Kranken, doch sollte sich leider zeigen, daß sein Leiden auf Wirklichkeit beruhte. Schon im November des verflossenen Jahres, als Krakau von dem Gebrüll der Festungsgeschütze erdröhnte, war sein Zustand recht bedenklich; im Winter besserte er sich wieder, aber verschlimmerte sich rapid in der zweiten Hälfte März. Eines Tages fand man ihn tot im Bette auf und daneben auf dem Tische lag ein Zettel mit eigenhändigen systematischen, genauen Aufzeichnungen über seinen Zustand und seine Krankheitssymptome.

So endete einer der hervorragendsten und angesehensten polnischen Gelehrten der Jetztzeit. Überblickt man seinen Lebenslauf, so staunt man vor allem über die zielbewußte Beharrlichkeit seines Strebens, welche sonst nicht gerade als Charakterzug des Polen angesehen wird. Und es war ein edles Streben; gewiß hat es selten einen Mann gegeben, der sein ganzes Leben so ausschließlich der Wissenschaft geopfert hat. Wieviel aber gerade hierdurch der stille Gelehrte für den ehrenvollen Namen Polens geleistet hat, muß auch eine Zeit anerkennen, welche sonst den Soldatenruhm vor allem anderen verherrlicht.

Schweizerische Naturforschende Gesellschaft.

99. Jahresversammlung in Zürich. 9.—12. September 1917.

Von Dr. Eduard Rudin, Basel,
Assistent am Zool. Institut der Universität Genf.

Erste Hauptversammlung, Montag, den 10. September.

Die Versammlung wurde vom Präsidenten des Jahresvorstandes, Prof. Dr. *C. Schröter* (Zürich), eröffnet, indem er unter dem brausenden Beifall der sehr zahlreichen Versammlung unserem verehrten Geologieprofessor *Albert Heim* das Ehrenpräsidium übertrug. In seiner Eröffnungsrede gab er dann zunächst einen chronologischen Überblick über die bisherigen Tagungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, seit deren erster, die unter der Leitung *Paul Usteris* stand, hundert Jahre verflossen sind. Altem Herkommen gemäß gab er dann unter dem Titel **Vierhundert Jahre Botanik in Zürich** eine Darlegung der Geschichte der botanischen Forschung in Zürich. Er unterscheidet zwei Perioden. Am Anfang der ersten, die mit dem Zeitalter der Reformation beginnt, steht *Conrad Geßner* (1516—1565). Vor ihm war die Zeit der Wirksamkeit eines *Paracelsus, Vadian, Seb. Münster* u. a. *Geßner* war Stadtarzt und förderte neben der Ausübung seines Berufes die allgemeine Entwicklung der wissenschaftlichen Botanik in Zürich. Er führte den Tierversuch ein, gründete einen botanischen Garten, wie überhaupt die Botanik seine Hauptleidenschaft war. Er widmete ihr denn auch sein Hauptwerk, die Historia plantarum, die erst im Jahre 1770, 200 Jahre nach seinem Tode, erschien. — Von der Mitte des 16. bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts folgt eine für die wissenschaftliche Botanik unfruchtbare Periode, die erst mit dem Aufkommen der mikroskopischen Forschungsmethode ihr Ende erreicht. *Johann Jakob Scheuchzer*[1]) ist der erste, der wieder botanisch arbeitet. *Scheuchzer* war Mediziner; er war der erste, der meteorologische Beobachtungen anstellte, der erste auch, der Torf ausgrub und ihn als Brennmaterial verwandte. Daneben beschäftigte er sich mit dem Föhn, den Gletschern, den Lawinen u. a. Sein Bruder, *Johannes Scheuchzer* (1684—1738), bearbeitete auf botanischem Gebiet namentlich die Gräser.

Mit *Johannes Geßner* wird die zweite Periode eingeleitet. Es ist das Zeitalter *Albrecht v. Hallers*, der *Bodmer* und *Breitinger, Salomon Geßler* usw. *Johannes Geßner* war einer der Gründer der Naturforschenden (damals Physikalischen) Gesellschaft Zürich (1746). Er gründete einen botanischen Garten und sammelte zwei große Herbarien; ferner organisierte er landwirtschaftliche Preisfragen und sogenannte Bauerngespräche. Auf ihn folgte Stadtrat *Johannes Hegetschweiler*, der eine Flora der Schweiz zusammenstellte und *Labrams* Abbildungen von Schweizerpflanzen herausgab. In erster Linie zu nennen sind aber dann zwei andere: *Oswald Heer* und *Karl Nägeli*. *Oswald Heer* (1800—1885) ist der Erforscher der Urweltflora. Er ist aber auch der erste, der sich mit der Flora der nivalen Region abgab. Auch in die Entomologie führte er neue Methoden ein. Er ist ein Förderer der Landwirtschaft und gründete das Botanische Museum der Eidgenössischen Technischen Hochschule. *Karl Nägeli* arbeitete durchweg grundlegend, namentlich auf dem Gebiete der Entwicklungsgeschichte. Es sei nur an seine Untersuchungen über Scheitelzelle und Vegetationskegel erinnert. Er erkannte das Dickenwachstum der Zellwände auf dem Wege der Intussuszeption. Auf dem Gebiet der Zellenlehre ist er der Begründer der Lehre vom osmotischen Druck. Seine Forschungen über Hieracium umfassen 4415 Nummern und um 16 000 Aufzeichnungen. Die Erkenntnis der Polarität stammt von ihm, und auf dem Gebiet der Vererbungslehre ist seine Theorie einer Vererbungssubstanz, eines Idioplasmas, grundlegend.

Im allgemeinen waren also die Forschungsgegenstände anfänglich namentlich systematischer, später, unter *Nägeli* und *Kramer*, auch anatomisch-physiologischer Natur. War ferner ursprünglich die Botanik eine Tochterwissenschaft der Medizin, so haben sich diese Beziehungen im Laufe der Jahre gelockert. Doch

---

[1]) Anm. d. Ref.: Weiteren Kreisen dürfte *Scheuchzer* bekannt sein durch den Anthr. Scheuchzeri, den homo diluvii testis.

142

scheint heutzutage wieder eine Reaktion zugunsten einer Annäherung der beiden Wissenschaften einzutreten, und zwar auf Grund der modernen Vererbungslehre und der Zytologie.

Den ersten Vortrag hält in französischer Sprache Prof. *A. L. Perrier* (Lausanne) über: **Les Orientations moléculaires en physique et en cristallographie.** Er bespricht die Hypothese der molekularen Orientierung, die für eine große Zahl von physikalischen Erscheinungen eine Erklärung gestattet und überhaupt von weittragender Bedeutung ist.

Nach ihm spricht Prof. *F. Baltzer* (Bern-Würzburg): **Über die Entwicklung und Vererbung bei Bastarden.** Der Vortragende geht aus von dem Vorgang der normalen Befruchtung, bei der ein Spermatozoon zu einer mit einem Kern versehenen Eizelle kommt. Dieses Samenkörperchen besteht aber fast nur aus einem Kern und nur wenig Protoplasma. An der Substanz des befruchteten Eies sind also Vater und Mutter in verschiedenem Maße beteiligt: die Mutter mit dem größten Teil des Plasmas und mit einem Kern, der Vater nur mit einem Kern und fast gar keinem Plasma. Unter normalen Umständen ist dies aber ohne Bedeutung, denn das Plasma spielt keine Rolle, und der Kern des Spermas ist dem des Eies gleichwertig. Vor der nun folgenden Teilung des Eies findet zuerst eine Teilung des Kerns statt, die unter den bekannten Begleiterscheinungen vor sich geht: Bildung der Chromosomen, Einstellen in die Äquatorialebene, Teilung der Chromosomen, Auseinanderweichen der Hälften usw.; hieraus sowie auch als Konsequenz aus den Mendelschen Regeln ergibt sich, daß wir die Chromosomen sowohl morphologisch als auch physiologisch als unter sich verschieden betrachten und ihnen eine Individualität zuerkennen müssen. Sie stellen für uns ein Mosaik von Vererbungspotenzen dar.

Anders verhalten sich nun die Dinge bei der Erzeugung der Artbastarde. Auch hier dringt das Spermatozoon in die Eizelle ein, sein Kern nimmt aber an dem ganzen Befruchtungs- und nachher an dem Teilungsmechanismus nicht teil, sondern er bleibt isoliert. — In anderen Fällen nehmen die väterlichen Chromosomen nur zum Teil am Befruchtungsprozeß teil. Bei einer bestimmten Seeigelart wurden z. B. von den 20 väterlichen Chromosomen nur vier in die mütterliche Sphäre einbezogen, die anderen sechzehn aber eliminiert. Der Nachweis dieser Elimination von Chromosomen ist sehr wichtig, und es erhebt sich die Frage, wodurch sie verursacht wird. *Baltzer* hat den Beweis erbracht, daß die Ursache in Kern-Plasma-Beziehungen zu suchen ist. Er fragmentierte Seeigeleier durch Schütteln derart, daß er kernlose Bruchstücke bekam, und in diese ließ er Spermatozoen eindringen. Auch in diesen Fällen wurden von den 20 Chromosomen 16 eliminiert, und nur 4 gingen eine Weiterentwicklung ein. Daraus ergibt sich mit Sicherheit, daß es das artfremde Plasma ist und nicht der Kern, welcher den anormalen Verlauf der Befruchtung hervorruft: der Kern des Spermatozoons befindet sich auf einem anormalen Boden. Man bezeichnet dieses anormale Verhältnis als eine Disharmonie und spricht von einer disharmonischen Entwicklung im Gegensatz zur harmonischen bei der normalen Befruchtung. In anderen Fällen verläuft der Prozeß normal; von einem gewissen Stadium an wird dann aber doch das väterliche Chromatin eliminiert.

Im allgemeinen kann man also sagen, daß bei Artbastarden Fälle mit disharmonischer Entwicklung vorkommen, bei denen die Disharmonie darin liegt, daß sich der väterliche Kern in einem fremden Medium befindet. Diese Elimination des väterlichen Chromatins geht nun unter Erkrankungserscheinungen vor sich, und zwar im Verlaufe des Blastulastadiums. Eine große Zahl von Eiern geht jeweilen daran zugrunde. Da nun die Elimination nicht erfolgt, solange die Entwicklung des Eies nur unter dem mütterlichen Einfluß steht, gelangte *Boveri* dazu, im Verlauf dieser Entwicklung zwei Perioden zu unterscheiden. Die erste, generative Periode reicht bis zum Blastulastadium und ist durch den alleinigen Einfluß der mütterlichen Potenzen gekennzeichnet. Die zweite, die spezifische oder eigentliche Blastulaperiode, steht unter dem Einfluß sowohl der väterlichen als auch der mütterlichen Einwirkungen. Da die Disharmonie mit dem Wirksamwerden der väterlichen Potenzen eintritt, muß sie auf das Ende der generativen und den Anfang der spezifischen Periode fallen. Die Bastardierung gestattet also in dieser Hinsicht eine Analyse des Entwicklungsmechanismus.

Wichtig sind nun die Vererbungserscheinungen bei diesen Bastarden. Ist der väterliche Kern eliminiert worden, wie beim Vorgang der disharmonischen Entwicklung, so hat die Larve natürlich mütterliche Eigenschaften. Denn parallel mit der Entfernung des väterlichen Kernmaterials geht ja auch die Entfernung der väterlichen Charaktere in der Larve. Die harmonische Entwicklung kann bei Artbastarden drei Wege einschlagen: entweder kombinieren sich die väterlichen und mütterlichen Eigenschaften, so daß ein Mittelding entsteht. In vielen Fällen treten aber auch die mütterlichen Charaktere rein auf. Bei einer dritten Gruppe von Fällen werden die Mendelschen Regeln befolgt, d. h. es gibt auch solche Artbastarde, bei denen ein Merkmal dominiert, und wo in der zweiten Generation eine Ausspaltung erfolgt. Es ist aber bemerkenswert, daß in den meisten dieser Fälle die dominierende Eigenschaft von der Mutter, also aus dem Ei stammt, so daß man demnach sagen kann, daß in der Eigenschaft die Mutter dominiert und nicht die Eigenschaft selbst.

Auch für das Ausbleiben der Mendelschen Spaltung, also für das Auftreten intermediär sich fortpflanzender Artbastarde, konnte die zytologische Ursache gefunden werden. Sie liegt im anormalen Verhalten bei der Bildung der Sexualzellen: da die väterlichen und mütterlichen Chromosomen von verschiedenen Arten stammen, zwischen ihnen also eine Disharmonie besteht, so findet vor der Teilung der Sexualzellen keine Konjugation der Chromosomen statt. Es teilen sich vielmehr die väterlichen und mütterlichen Chromosomen ohne vorherige Vereinigung, so daß auf alle Sexualzellen der volle Chromatinbestand übergeht und keine Verteilung der Qualitäten auf dieselben stattfindet.

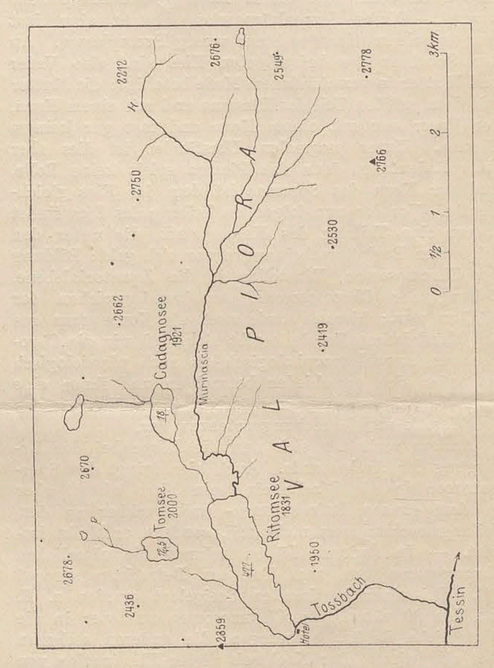
Diese Erscheinungen stehen im Gegensatz zu dem Gang der Vererbung bei der Kreuzung von Varietäten. Bei diesen kann eben ein Mendeln stattfinden, denn die Disharmonie zwischen dem väterlichen und mütterlichen Material fällt dahin, so daß also eine Konjugation stattfinden kann, sofern sich die entsprechenden väterlichen und mütterlichen Chromosomen zusammenfinden. Diese beiden Extreme sind aber doch durch Übergänge miteinander verbunden, Artbastarde, bei denen neben intermediär sich vererbenden Eigenschaften auch solche auftreten, die einer Mendelschen Spaltung unterworfen sind. Die zytologische Untersuchung hat gezeigt, daß in solchen Fällen immer einige Chromosomen konjugieren, während die Mehrzahl diesem Vorgang nicht unterliegt. Hierin liegt zugleich eine Stütze mehr für die Annahme einer Lokalisation der Ver-

erbungspotenzen in den Chromosomen. Die Frage der Artbastardierung ist also ein komplexes Problem: es handelt sich sowohl um Fragen der Vererbung als auch um solche entwicklungsmechanischer Natur.

Dienstag, der 11. September, war für die Arbeit in den Sektionen bestimmt. Für diesen Tag waren in 18 Sektionen 230 Referate und Mitteilungen vorgesehen. Es ist selbstverständlich ausgeschlossen, über alle zu berichten, so daß hier nur die wichtigsten unter denjenigen Platz finden sollen, die der Referent selbst angehört hat.

In der Zoologischen Sektion sprach Dr. *Paul Vonwiller* (St. Gallen-Würzburg) über: **Neue Ergebnisse der Mitochondrienforschung bei niederen Tieren.** Die Mitochondrien sind neuerdings sehr wichtig geworden; neuere Forschungen haben an ihnen Teilungserscheinungen festgestellt, und sie können in gewissem Sinne als das lebende Prinzip in der Zelle bezeichnet werden. Man hat auch gefunden, daß in Drüsenzellen die Sekrettröpfchen durch Umwandlung von Mitochondrien entstehen. Bei Protozoen sind sie bis jetzt wenig bekannt geworden. *Arndt* hat sie 1914 von einer neuen Amöbenart beschrieben. Sie finden sich aber auch bei Amoeba proteus, und zwar im Hyalinkörper nahe bei der kontraktilen Vakuole. Sie sind meist von kugelförmiger Gestalt (Sphäroplasten) und haben charakteristische färberische Eigenschaften. Im Gegensatz zu den Mitochondrien in den Geweben der höheren Tiere sind sie aber resistent gegen Essigsäure. — *Vonwiller* hat sie nun auch bei Myxomyceten nachgewiesen, und zwar bei Ecballium. Sie finden sich dort in Sporen, Schwärmern und Plasmodien. Wie bei den Protozoen sind sie meist kugelförmig, nur in den Schwärmern sind sie länglich-stäbchenförmig. — Sie sind wenig zahlreich, aber ihre Zählung ist doch nicht möglich. Bei der Untersuchung von Sporangien von Mycogala unter Zuhilfenahme Heidenhainscher Färbung zeigt sich das Eigentümliche, daß sich in jedem Sporangium nur ein einziges Mitochondrium findet. Diese Tatsache ist etwas Neues, denn sonst sind die Mitochondrien nicht zahlenmäßig bestimmt. Nach diesem ersten Beispiel einer gesetzmäßigen Verteilung der Mitochondrien wurde dann noch ein zweites gefunden, so daß es sich vielleicht um eine Regel handelt. — Hinsichtlich der Entwicklung der Mitochondrien ließ sich nur feststellen, daß sie in jüngeren Exemplaren von Mycogala zahlreicher sind, daß also im Laufe der Entwicklung eine Reduktion eintreten muß.

Dr. *Gotthold Steiner* (Thalwil) sprach über die: **Nematoden der deutschen Tiefsee-Expedition.** Das Valdiviamaterial, mit großen Ausbeuten von den Falklandsinseln und von Disco, beweist, daß die Nematoden sowohl in der Arktis als in der Antarktis verbreitet sind. Zu den bereits bekannten Funden in den tropischen Meeren gesellen sich solche aus dem Indischen Ozean (Dar-es-Salam). Es ergibt sich ferner, daß die Nematoden dem pelagischen Gebiet fehlen. Wenn sie dort trotzdem etwa gefunden werden, so handelt es sich um losgerissene Exemplare. *Steiner* nimmt an, daß die freilebenden Nematoden nicht an die pelagische Lebensweise angepaßt sind, sondern daß sie von pelagisch lebenden Tieren abstammen, die sekundär sessil geworden sind. — In vertikaler Richtung wurden die Nematoden bis jetzt nur bis in eine Tiefe von ca. 20 m gefunden: nur die Gaußexpedition fand sie auch noch bei 4000 m. Im Valdiviamaterial finden sie sich bis zu 400 m Tiefe, in noch tieferen Dredgefängen aber nicht. Dagegen wurden in Tiefen von 1000—3000 m zahlreiche parasitische Nematoden erbeutet, so daß der Schluß naheliegt, daß sich parasitische und freilebende Nematoden in allen Tiefen finden. — In bezug auf die Lebensweise der freilebenden Nematoden kommt *Steiner* zu Schlüssen, die von den bisherigen Anschauungen abweichen. Er nimmt an, daß die freilebenden Nematoden sessile oder halbsessile Tiere sind. Bei normaler Orientierung ist ihre Hauptachse senkrecht zur Unterlage gestellt. Sie sind primär mit Klebdrüsen versehen. Ihr Fehlen bei den parasitischen Formen ist das Ergebnis einer sekundären Rückdifferenzierung. Beim Schwimmen ist ihre Medianebene immer horizontal gerichtet, die sogenannte Bauchseite also nach links oder rechts. In bezug auf die Phylogenie nimmt *Steiner* an, daß die Nematoden



nicht von höheren Arthropoden abstammen, sondern daß sie mit den Gastrotrichen, Rotatorien usw. zusammengehören.

Dr. *Konrad Bretscher* (Zürich) besprach: **Neues über den Vogelzug.** *Bretscher* hat von jeher die Ansicht vertreten, daß für den Vogelzug die meteorologischen Verhältnisse nicht in erster Linie maßgebend sind. Für diese Anschauung hat das Frühjahr 1917 mit seinen abnormen Witterungsverhältnissen einen neuen Beweis erbracht. Ein Vergleich der Zugsmittel von 1917 mit denjenigen früherer Jahre zeigt nämlich, daß zwar in den meisten Jahren die Zugsmittel früher lagen als 1917, in einzelnen aber auch später, ja es ist sogar nie das Jahr 1917 dasjenige mit den spätesten Zugsmitteln. Ein weiteres Argument zugunsten von *Bretschers* Annahme liefert der Umstand, daß ja einzelne Partien der Zugsperioden allen Beobachtungsjahren gemeinsam sind, und daß diese gemeinsamen Partien in den verschiedenen Jahren durch die allerverschiedensten Witterungserscheinungen charakterisiert sind.

143

Die *hydrologische Kommission* ist in der Lage, über den Abschluß der Untersuchungen an ihrem ersten Studienobjekt, der **Gruppe des Ritom-, Cadagno- und Tomsees im Val Piora** (Gotthardgebiet) zu berichten. In der zweiten Hauptversammlung berichtet Prof. *Hans Bachmann* (Luzern) einleitend: Das Val Piora ist ein abgeschlossenes Ganzes. Es enthält neben zahlreichen kleineren die drei genannten Seen. Der Ritomsee ist nun dazu bestimmt, das Wasser für ein Kraftwerk der Gotthardbahn zu liefern, und wird deshalb in einer Tiefe von etwas weniger als 30 m angezapft. Infolgedessen treten Veränderungen ein, die eine Änderung der biologischen Verhältnisse nach sich ziehen, die noch verschärft wird durch den Umstand, daß der See im Sommer volle 8 m über sein bisheriges Niveau gestaut wird. Es ergab sich daher die Aufgabe, die durch diese Eingriffe erfolgenden Veränderungen in der Fauna und Flora zu verfolgen. Eine Eigenart dieses Sees, und auch noch anderer Alpenseen, bildet die Tatsache, daß sein Wasser von einer Tiefe von 13 m an stark schwefelwasserstoffhaltig ist. Infolgedessen ist man berechtigt, von zwei getrennten Seen zu reden, einem Ober- und einem Untersee, und dies um so mehr, als die Zirkulation des Wassers (Konvektion) streng auf den Obersee beschränkt ist. In den Kreis der Untersuchungen wurden auch die benachbarten Seen einbezogen.

In der Sitzung der hydrobiologischen Sektion sprach dann im einzelnen Prof. *Düggeli* (Zürich): **Über bakteriologische Beobachtungen am Ritomsee-Wasser.** 1916 waren sowohl die Zuflüsse als auch der Tom- und Cadagnosee infolge starker Niederschläge sehr keimreich. Im Tomsee fanden sich 5040, in der Murinascia 3810 Keime pro Kubikzentimeter. Im Ritomsee fanden sich in den oberen Schichten pro Kubikzentimeter von mehreren Hundert bis zu 2000 Bakterien. Das Maximum fand sich 12,7 m unter der Oberfläche. Diese Zone ist reich an Organismen, die beim Übertritt in den schwefelwasserstoffhaltigen Teil des Sees nicht weiter sinken. Infolgedessen findet sich in diesem Abschnitt auch ein besonderer Reichtum an Spaltpilzen. Unter diesen sind solche des flachen Landes, aber auch neue Arten. Der Gehalt an Schwefelwasserstoff, angegeben in Milligramm pro Kubikzentimeter Wasser, war in den verschiedenen Tiefen folgender: 10 m : 0; 12,5 m : 0; 13 m : 6,1; 13,5 m : 19,4; 15 m : 22,5; 30 m : 30,5; 32,5 m : 30,1. Da dieser Schwefelwasserstoff für die Mehrzahl der Bakterien giftig ist, so bleiben alle Kulturen aus dem unteren Teil des Sees steril. Kontrollversuche mit Tiefen- und Oberflächenwasser hatten das Ergebnis, daß das Tiefenwasser auf Kulturen von B. fluorescens und violaceum schon nach 30 Minuten, auf solche von B. punctatum nach einer Stunde tötend wirkt. In den unteren Partien des oberen, schwefelwasserstoffreien, aber sauerstoffhaltigen Wassers finden sich rote Schwefelbakterien. Fand man 1916 von 15 m Tiefe an keine züchtbaren Spaltpilze mehr, so lagen 1917 die Verhältnisse anders. Im Frühjahr hatte man durch einen Stollen, dessen Mündung 26 m unter der Oberfläche lag, den See so weit abgelassen, daß sein Niveau 24 m tiefer sank. Dann hatte man den Stollen wieder geschlossen und den See sich wieder füllen lassen. Dabei traten aber Mischungen des Wassers ein, die zur Folge hatten, daß das Tiefenwasser nicht mehr so reich war an H_2S. Die Zahlen für 1917 sind die folgenden: 26 m : 0; 27 m : 4,78; 28 m : 7,58; 30 m : 8,46; 35 m : 10,3; 44 m : 10,29 mg H_2S/ccm. Bakteriologisch fanden diese Veränderungen ihren Ausdruck darin, daß 1917 das Wasser von ca. 30 m Tiefe an zwar nicht steril, aber doch bakterienärmer war als weiter oben.

Der Eidgenössische Fischereiinspektor Dr. *G. Surbeck* spricht: **Über die Fische des Ritomsees.** Es handelt sich namentlich um das Studium des Einflusses des Schwefelwasserstoffs auf das Fischleben in den drei Seen:

	m ü. M.	ha Fläche	m maximaler Tiefe
Ritomsee . . .	1831	90,4	47,7
Cadagnosee . .	1921	18	18
Tomsee	2000	13,5	12,5

der zweite mit Schwefelwasserstoff von 12,5 m an.

Das Einzugsgebiet umfaßt eine Fläche von 23,125 qkm. Es ist in fischereilicher Hinsicht ein in sich abgeschlossenes Ganzes, denn von unten ist keine Besiedelung mit Fischen möglich. Was sich an solchen findet, ist also eingesetzt worden. Im 18. Jahrhundert wurden Forellen eingesetzt, gegen Ende desselben waren sie aber verschwunden. 1854 wurde der Einsatz mit 30 bis 40 Fischen aus dem Tessin wiederholt. Heute finden sich in den Seen drei Fische: die Grobbe, Cottus gobio, die Forelle und daneben neuerdings der Saibling, Salmo salvelinus.

Die Grobbe wurde als Futter für die Forellen mit diesen eingesetzt. Sie ist in allen drei Seen zahlreich und ist zudem noch besonders groß. Es fanden sich bis zu 13,5 cm lange Stücke. Doch ist dies die Regel für hochgelegene Bergseen. Besonders massenhaft finden sie sich im Tomsee. Im August 1917 fand man sie — wenigstens temporär — auch pelagisch, und nicht nur im Schlamm. Im Frühjahr und Sommer treiben zahlreiche Leichen, jedenfalls eingefrorene Tiere.

Die Forelle kommt nur eingesetzt vor, und zwar nur im Ritom- und Cadagnosee. Die Tiere, mit denen die Neubesetzungen ausgeführt wurden, sind verschiedenster Provenienz: sie stammen hauptsächlich aus der Maggia und dem Tessin, aber auch etwa aus dem Ritomsee selbst. Im Tomsee konnten sie sich nur zwei Jahre lang halten und sind seitdem daraus verschwunden.

An den Forellen des Ritomsees läßt sich nun die Variabilität besonders schön beobachten: Die Tessinforellen ändern im See sowohl ihre Färbung als auch ihre Gestalt. Zwischen dem reinen fario-Typus mit den roten Tupfen und dem silberglänzenden lacustris-Typus finden sich alle Übergänge. Übrigens ist auch die entgegengesetzte Umwandlung, von lacustris in fario, bekannt, von einem Fall von Einsetzung von lacustris-Formen in Bäche in der Waadt, aus denen die fario-Form entstand. — Magenuntersuchungen ergaben, daß die Forellen Allesfresser sind. Neben Grobben fanden sich Maden und Puppen von Insekten, ferner Daphnia longispina, Ostracoden und Hydracarinen. Der Schaden, der durch die Absenkung am Forellenbestand verursacht wurde, ist sehr groß: in früheren Jahren wurden etwa 200 kg gefangen, dieses Jahr nicht einmal ganz 12 kg.

Der Saibling wurde vor 10—15 Jahren mit der Forelle eingesetzt, doch sind für ihn die Verhältnisse derart ungünstig, daß er sich nur noch in spärlichen Resten findet. Im Tomsee wurden am 19. Juni 1915 20 000 Stück eingesetzt. Im August 1917 fing man acht sehr große Stücke von 31,5 bis 21,5 cm Länge und einem mittleren Gewicht von 222 g. Das Maximum hatte ein Fisch mit 370 g, dann folgten solche mit 340, 265, 225 g usw. Da der See reich ist an

Cottus gobio, sollte er sehr günstig sein für den Saibling. Mageuntersuchungen förderten aber nicht eine einzige Grobbe zutage; dagegen fanden sich in allen Mägen Plankton-Crustaceen: in erster Linie Daphnia longispina, daneben aber auch Diaptomus und Cyclopiden.

Am 17. und 18. Juni 1917 war der Wasserstand des Sees noch etwa 5 bis 6 m zu tief. An einigen trockenen Stellen östlich des Hotels Piora fanden sich daher am Ufer tote Organismen des Litorals: Limnaea ovata und Trichopterenlarven. Sie hatten sich meist in Vertiefungen zurückgezogen. In derselben Zone fanden sich zugleich noch lebende Organismen, und zwar neben Limnaeen auch Chironomuslarven. Es wurden nun sowohl mit feuchten als mit trockenen Schlammproben Bewässerungsversuche angestellt, und es zeigten sich nach 24 Stunden: in den feuchten Proben: lebende Limnaea ovata, rote und weiße Chironomiden, auch junge Ostracoden, dann Nematoden, Cyclopiden, Ciliaten, Flagellaten, Diatomeen, endlich Ephippien und Nauplien; in den trockenen Proben: Chironomiden. Trichopterenlarven, Cyclopiden, Nematoden, Flagellaten und Diatomeen.

Zweite Hauptversammlung, Mittwoch, den 12. September 1917.

Neben vier wissenschaftlichen Vorträgen war die Sitzung verschiedenen Gegenständen geschäftlicher Natur gewidmet. Namentlich kamen die Referenten einiger Kommissionen zu Wort, um über deren Tätigkeit Aufschluß zu geben.

Als erster Redner berichtete Prof. *R. Chodat* (Genf) in französischer Sprache über: **Un voyage botanique en Paraguay.** — Die Reise wurde im Jahre 1914 ausgeführt und hatte systematische Untersuchungen zum Ziel, ferner Forschungen über biologische Probleme, Fragen der Samenentleerung und -verbreitung durch Wasser, Wind und Tiere usw., der Bestäubungsvorrichtungen usw. Der Vortrag war durch eine große Zahl farbiger Lichtbilder illustriert.

Nach ihm spricht Prof. *Eugen Bleuler* (Zürich) über: **Die neuere psychologische Richtung in der Psychiatrie und ihre Bedeutung für andere Disziplinen.** — Es bestand schon früher eine psychologische Richtung, die dann aber wieder verlassen wurde. Erst von französischer Seite wurde ihr wieder Beachtung geschenkt und das Hauptergebnis der neuen Methode war zunächst die Unterscheidung zwischen den degenerativen Nervenkrankheiten, den Schizophrenien, und den funktionellen Geisteskrankheiten, den Neurosen. Es besteht z. B. ein prinzipieller Unterschied zwischen der organischen Erkrankung des Sehnervs, also Erblindung, und der Farbenblindheit. Er äußert sich darin, daß bei der ersteren zuerst die Empfindung für Rot verschwindet, während sie bei der letzteren am längsten bleibt. Es zeigte sich z. B. die Wichtigkeit der Hypnose und ihr bedeutungsvoller Zusammenhang mit Arznei und Heilung. Es eröffnete sich ferner das Verständnis für die Erschwerung der psychischen Funktionen durch Melancholie. *Bleuler* besprach in diesem Zusammenhang auch den Begriff der Ideenflucht. Eine Hauptetappe auf dem ferneren Entwicklungsweg wird durch den Namen *Freuds* gekennzeichnet. *Bleuler* betont, daß trotz aller Verkehrtheiten und Übertreibungen, die sich in den letzten Jahren an seine Lehre knüpften, ihre Grundlage doch richtig bleibt, nämlich, daß viele Krankheiten auf einem psychischen Bedürfnis beruhen. Man flüchtet — unbewußt — zur Krankheit, entweder, indem man, wie bei den Neurosen, krank wird, um den Kampf mit dem Bedürfnis nicht ausfechten zu müssen, oder, indem man sich die Erfüllung des Bedürfnisses erträumt. Allerdings fällt nun hierbei dem Unbewußten eine große Rolle zu; die Mechanismen sind kompliziert, denn die affektiven Begriffe ersetzen die Gesetze der Logik. Es handelt sich um ein Verdrängen der unangenehmen Vorstellungen ins Unbewußte, trotzdem werden sie zur Krankheitsursache. Als feststehend ist anzusehen, daß bei den Neurosen die Erschöpfung nur eine geringe Rolle spielt, meist sogar gar keine, daß es sich vielmehr immer um unbefriedigte Triebe handelt. Es ist selbstverständlich, daß unter diesen die sexuellen Bedürfnisse die wichtigste Rolle spielen müssen. Wenn diese Triebe aber auch nicht immer verursachend wirken, so haben sie auf die Krankheit doch einen gestaltenden Einfluß. Der Vortragende besprach dann im Anschluß hieran die große Bedeutung des Affektes und der Affektivität, als des einzigen Bindemittels tierischer Gesellschaften. Daß die Logik dabei ihre Rolle ausgespielt hat, zeigen die Massenpsychosen des gegenwärtigen Krieges.

Weiterhin gestatten die neuen Erkenntnisse eine Erklärung der Berufskrankheiten: es sind ohne Ausnahme Zweckpsychosen. Zu diesen gehört die Bleikrankheit, die Unfallpsychosen, die Kriegspsychosen, u. a. Von den Unfallpsychosen namentlich kann gesagt werden, daß es unter ihnen keine gibt, die nicht einen materiellen Gewinn zu verschaffen den unbewußten Zweck hätte. Dies ist ein Punkt, der z. B. bei der Einführung der Kranken- und Unfallversicherung viel zu wenig berücksichtigt worden ist. In allen diesen Fällen treten die Krankheiten nur ein, wenn durch sie ein materieller Gewinn erzielt werden kann. Aber auch bei anscheinend rein körperlichen Leiden findet immer ein Eingreifen der Psyche statt, so z. B. bei der chronischen Verstopfung, beim Aussetzen der Menstruation usw.

Es zeigt sich aber weiterhin, daß diese neue Psychologie nicht nur für den Psychiater von Bedeutung ist, sondern daß sie beginnt, auf alle möglichen, anscheinend zum Teil recht fernliegende Gebiete der menschlichen Tätigkeit einen Einfluß auszuüben. Es sei nur an die psychologische Vertiefung erinnert, die sich seit einigen Jahren in der modernen Belletristik bemerkbar macht. In der Zoologie hat in den letzten Jahren die Tierpsychologie eine große Bedeutung erlangt. Die Theologie bedarf zur Vertiefung notwendig der Psychologie. Der Jurist muß die Psychologie des Verbrechers studieren, aber auch unser neues Schweizerisches Zivilgesetzbuch ist auf einer psychologischen Basis aufgebaut. Der Mediziner muß Psychologe werden, denn der Quacksalber ist der geborene Psychologe. Zum Verständnis von Kunst und Musik ist die Psychologie unentbehrlich. Auch in die Politik spielt sie hinein. Die soziale, die sexuelle und die Frauenfrage sind in viel höherem Maße psychologische als volkswirtschaftliche Probleme. Und was die Psychologie endlich im Krieg für eine Rolle spielt, das sehen wir jetzt täglich.

In französischem Idiom spricht Prof. *E. Argand* (Neuchatel) über: **Les phases du plissement alpin.** — Der Vortragende stellte, gestützt auf seine vielen Forschungen in den Westalpen, die Theorie auf, daß die Faltung des Alpensystems nicht in zwei, durch eine Zeit der Ruhe getrennten, Perioden erfolgte, einer karbonischen und einer tertiären, sondern daß es sich um einen seit dem Karbon durch das ganze Mesozoikum hindurch kontinuierlich andauernden Vorgang handelt.

Den letzten Vortrag hielt Dr. sc. nat. h. c. *Friedrich Schmid* (Oberhelfenswil) über: **Das Zodiakallicht,** ein Glied der meteorologischen Optik. — In den Tropen ist das Zodiakallicht bei gutem Wetter das ganze Jahr sichtbar. Bei uns beginnt es Ende September aufzutreten, erreicht im Januar sein Maximum, um Ende Mai wieder zu verschwinden. Die einleitenden Erscheinungen treten aber schon Anfang Juli wieder auf, so daß also nur der Juni ganz frei von ihm ist. In allen Monaten ist es sonst sichtbar, und in jeder klaren Oktober- und Novembernacht das Ost- und das Westlicht. Das Zodiakallicht ist eine absolut konstant auftretende Erscheinung. Es sieht verschwommen, milchig aus. Spät am Abend wird seine Farbe weiß bis gelblich. Je weiter der Standpunkt des Beobachters nach Norden verlegt ist, um so mehr ist der Lichtkegel nach Süden geneigt. Das Maximum der Intensität liegt etwa im ersten Drittel von Süden. Die Basisbreite des Kegels beträgt bis zu 80 und 100°. Die Spitze reicht bis über die Hälfte des sichtbaren Tierkreises. Es ist eine durch ihre Ausdehnung imponierende Erscheinung. Auch bei uns wird etwa als schwacher Schimmer im Osten der Gegenschein sichtbar. Die Milchstraße zieht sich schwach leuchtend vom Zodiakallicht bis zu seinem Gegenschein.

Die Natur des Zodiakallichtes ist unsicher. Es gibt zwei Hauptgruppen von Erklärungen; die einen suchen seine Ursache in kosmischen Verhältnissen, die andern in tellurischen Umständen. Beiden Gruppen ist gemeinsam, daß sie reflektiertes Sonnenlicht voraussetzen. So wird gelegentlich als Ursache eine Wolke kosmischen Staubes angesehen, die ringförmig um die Sonne liegt, und von der die einen sich vorstellen, daß sie innerhalb, die andern, daß sie außerhalb der Erdbahn liegt. *Birkeland* hat sich gegen diese Staubhypothesen gewandt. Wieder andere nehmen eine Ausstrahlung elektrisch geladener Atome aus dem Sonnenäquator an.

Nach dem Vortragenden handelt es sich um ein optisch-tellurisches Phänomen. Er betrachtet es als eine Reflexerscheinung des Sonnenlichtes in den äußersten Partien unserer Atmosphäre. Allerdings liegt ihr Sitz nicht in der Äquatorialebene, sondern in der Ebene der Ekliptik. Dies erklärt sich daraus, daß die Rotationsverhältnisse in den obern Teilen der Atmosphäre jedenfalls andere sind als in den untern. Denn der Äquator der Atmosphäre dürfte unter dem Einfluß der nächsten Himmelskörper gegen die Ekliptik hin verschoben sein. Auch ein Einwirken der Verteilung der Erdteile und Meere macht sich möglicherweise dabei geltend. Der Vortragende erläuterte an Hand zahlreicher Projektionen mit komplizierten Konstruktionen seine Darlegungen, die auf jahrzehntelange Beobachtungen gestützt sind, und für deren Ergebnisse ihm im Jahre 1914 der doppelte Preis der Schläflistiftung sowie in dieser Versammlung von der Eidgenössischen Technischen Hochschule die Würde eines Dr. sc. nat. hon. caus. verliehen wurden.

Besprechungen.

Freundlich, Erwin, Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie. Zweite Auflage. Berlin, Julius Springer, 1917. 74 S. Preis M. 3,60.

Die Schrift über die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie, welche im vorigen Jahre — zuerst (aber ohne die Anmerkungen) in den „Naturwissenschaften" — erschien, sollte zeigen, wie die Grundlagen der Mechanik mit den Grundlagen der Geometrie auf das engste zusammenhängen, sodann, wie ein allgemeines Prinzip der Relativität aller Bewegungen zu neuen Grundgesetzen für eine Mechanik der Relativbewegungen der Körper gegeneinander und zu einer Gravitationstheorie hinführt. Dabei war ich auf die spezielle Relativitätstheorie, die sich auf gleichförmig geradlinig gegeneinander bewegte Systeme beschränkt, nicht weiter eingegangen, da über diese bereits eine große Literatur existiert.

Die jetzt notwendig gewordene zweite Auflage der Schrift habe ich nicht nur übersichtlicher und leichter lesbar zu gestalten versucht, sondern ich habe sie auch durch ein Kapitel über die spezielle Relativitätstheorie eingeleitet. Man findet nämlich immer wieder, auch von Fachgenossen, die merkwürdige Ansicht vertreten, die spezielle Relativitätstheorie habe aufgegeben werden müssen und die allgemeine stelle den Versuch dar, eine andere Theorie an ihrer Stelle zu schaffen, der möglicherweise keine längere Lebensdauer beschieden sein werde. Das ist jedoch eine völlige Verkennung der Sachlage. Deswegen habe ich in der neuen Auflage ein Kapitel über die spezielle Relativitätstheorie als Vorstufe zur allgemeinen vorausgeschickt, um zu zeigen, wie die allgemeine Relativitätstheorie mit der speziellen organisch verwachsen ist. Sie mußte unbedingt kommen, falls unsere Bemühungen, die Mechanik zu einer Theorie der Relativbewegungen der Körper gegeneinander zu gestalten, was schon *Newton* als äußerstes Ziel vorschwebte, zu einem Abschluß gelangen sollten.

Die spezielle Relativitätstheorie war aus der Elektrodynamik bewegter Körper herausgewachsen und hatte nur von neuem die Schwächen der klassischen Mechanik aufgedeckt, ohne sie aber zu beseitigen. Da sie sich auf gleichförmig geradlinig gegeneinander bewegte Systeme beschränkt, konnte sie auch nicht unmittelbar zu einer Mechanik der Relativbewegungen der Körper führen. Denn infolge der Gravitation bewegen sich ja alle Körper, wie die Beobachtungen lehren, beschleunigt gegeneinander. In einer Mechanik der Relativbewegungen können also Vorgänge, die dem speziellen Relativitätsprinzip unterliegen, nur solche sein, die alle Gravitationseinflüsse außer acht lassen. Streng genommen ist das in der Natur nie möglich. Infolgedessen konnte auch die spezielle Relativitätstheorie nur als idealisierter Spezialfall einer weiter gefaßten Theorie gelten, die auch die Relativität beschleunigter Bewegungen berücksichtigt, — falls überhaupt ein so allgemeines Relativitätsprinzip in der Natur Gültigkeit besitzt.

Nun, die Leistung der Einsteinschen Theorie ist es ja, zu zeigen, daß eine so allgemeine Relativitätstheorie in der Tat möglich ist, alle prinzipiellen Schwierigkeiten der klassischen Mechanik vermeidet und zugleich zu einer Gravitationstheorie führt. Von diesem Standpunkt aus betrachtet, erhalten die Ergebnisse und Forderungen der speziellen Relativitätstheorie einen veränderten Gültigkeitsbereich. Daher bedeutet die Zufügung eines Kapitels über die spezielle Relativitätstheorie als Vorstufe zur allgemeinen keineswegs die Wiederholung oft besprochener Fragen.

Die anderen Kapitel sind, abgesehen von Sprachverbesserungen und weiteren Anmerkungen, nicht wesentlich verändert worden. Nur das Kapitel, welches die Darstellung der Einsteinschen Theorie selbst enthält, ist ganz umgearbeitet worden. Ich habe in der neuen Fassung den Gang des eigentlichen Referates nicht durch Abschweifungen über prinzipielle Fragen unterbrochen. Dafür habe ich als Abschluß des Ka-

pitels einen Rückblick gegeben auf den Standpunkt der neuen Theorie gegenüber den verschiedenen prinzipiellen Fragen, welche sich in den vorangehenden Kapiteln erhoben hatten. Eine Anmerkung zu diesem Kapitel enthält die Grundgleichungen der neuen Theorie explicite hingeschrieben und skizziert den Übergang zu den Newtonschen Gleichungen der klassischen Mechanik. *Selbstanzeige.*

Bavink, B., Einführung in die allgemeine Chemie. (Aus Natur und Geisteswelt Nr. 582.) Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1917. 108 S. und 24 Fig. Preis geh. M. 1,—, geb. M. 1,25.

Für die Aufgabe, die Lehren der allgemeinen und physikalischen Chemie auf etwa 100 kurzen Seiten darzustellen, hat *B. Bavink* hier eine recht gefällige Lösung gefunden. — Der erste Hauptabschnitt, „Die Umwandlungen der Stoffe", umfaßt die Kapitel: Die chemischen Verbindungsgesetze und die Atomtheorie, — Die Systematik der Elemente, — Die kinetische Wärmetheorie und die Aggregatzustände, — Chemische Dynamik. Im zweiten Hauptabschnitt: „Umwandlungen der Energie", werden besprochen: Energie- und Entropiegesetz, — Thermochemie, — Elektrochemie, — Photochemie. Den Beschluß macht ein Abschnitt über den Bau der Atome, der hauptsächlich den Erscheinungen der Radioaktivität gewidmet ist. — Trotz der gebotenen Kürze bemüht sich der mit den neuesten Fortschritten der Wissenschaft wohl vertraute Verfasser doch auch eifrig und erfolgreich um die Definition der grundlegenden physikalischen Begriffe und scheut sich nicht, recht verwickelte Dinge, wie etwa die Lauediagramme oder Atommodelle wenigstens andeutungsweise vorzutragen. Ohne Zweifel sind gerade diese neuesten Forschungen über die Konstitution der Materie in hohem Maße geeignet, das Interesse jedes Lesers zu fesseln und eindringlich daran zu erinnern, daß die allgemeine Chemie im weitesten Sinne nicht hinter der volkstümlicheren experimentellen Chemie zurückgeblieben ist. Und damit dürfte das Ziel dieser Schrift erreicht sein. *J. Koppel, Berlin-Pankow.*

Deutsche ornithologische Gesellschaft

In der Sitzung am 8. Oktober d. J. sprach Dr. *Heinroth* über **reflektorische Bewegungsweisen der Vögel im Lichte der Stammesverwandtschaft** und führte folgendes aus: Das Kratzen des Kopfes erfolgt entweder in der Weise, daß der Vogel das Bein vorn an der Brust vorbei zum Kopf führt, oder indem er es hinter dem Flügel hindurchsteckt und sich so über den Rücken hinweg kratzt. Diese Bewegungen sind durchaus zwangsmäßig und reflektorische und werden bereits von den Nestjungen ausgeführt. Es kratzen sich vornherum die Hühner, Tauben, Rallen, Steißfüße, Möven, Schnepfen, Kraniche, Reiher, Störche, Enten, Raubvögel, die größeren Papageien, Kuckucke, Spechte, dagegen hinter dem Flügel herum: Regenpfeifer, Kiebitze, Bienenfresser, Eisvögel, die kleineren Papageien, Wiedehopf, Segler und alle Singvögel.

Das Baden im Wasser ist zwar sehr verbreitet, wird aber nicht von allen Vogelarten ausgeführt, so baden Hühner, Lerchen und Wiedehopf niemals im Wasser, sondern nur im Sande. Schwalben, Pirol, wohl auch Blaurake und Bienenfresser baden im Fluge durch Eintauchen ins Wasser. Sandbäder nehmen außer Hühnern und Lerchen auch Raubvögel, Eulen, Blauraken, Zaunkönige, Sperlinge und viele andere. Es gibt also eine ganze Reihe von Vögeln, die sowohl im Wasser wie im Sande baden. Es führen die Beute mit dem Fuß zum Schnabel: Raubvögel, Eulen, viele Papageien, Sultanshühner, Würger und Bartmeisen. Die beiden letzteren Vogelarten haben die Gewohnheit, die Nahrung in die Zehen zu nehmen und dann den Lauf auf die Sitzunterlage aufzustützen. Raben, einige Finken, Zaunkönig, Stieglitz, Kreuzschnabel und die Gattung Parus stellen sich auf die Beute. Regenpfeifer und Kiebitz führen mit dem Fuß zitternde Bewegungen über dem Erdboden aus, was offenbar den Zweck hat, Insektenlarven in Bewegung zu bringen, damit sie dem Umschau haltenden Vogel besser auffallen.

Die männlichen Paradiesvögel legen die langen Schmuckfedern, die beim Umdrehen auf der anderen Seite des Astes geblieben sind, mit dem Schnabel zurecht. So einfach und selbstverständlich eine solche Handlungsweise erscheint, so wird sie doch von keinem anderen Vogel ausgeführt. Geraten z. B. einem Pfau oder langschwänzigen Papagei beim Umdrehen auf der Sitzstange die langen Federn auf irgend eine Weise in die Klemme, so kommt der Vogel nie auf den doch sehr naheliegenden Gedanken, sie mit dem Schnabel zurecht zu legen. Man sieht also, wie sehr das Tier unter dem Banne der angeborenen reflektorischen Handlungsweise steht.

Der Vogel schließt das Auge dadurch, daß er das untere Augenlid nach oben heraufzieht. Eine Ausnahme machen die Eulen und der Zaunkönig, die das obere Augenlid nach unten ziehen.

Bei Empfindung starker Hitze sperren die Vögel den Schnabel auf, wobei Eulen und Scharben den Kehlsack rasch bewegen, so daß also eine Art Hecheln stattfindet.

Zu diesen Ausführungen bemerkte Major *v. Lucanus*, daß alle Papageien, die sich vorn an der Brust vorbei den Kopf kratzen, auch den Fuß zum Festhalten der Nahrung benutzen, was dagegen die Arten, welche die Kratzbewegung hinter dem Flügel herum ausführen, niemals tun. Der amerikanische Sperlingsfalk stützt nach Würgerart beim Fressen den Lauf auf und hat auch sonst, besonders durch die wippenden, schmätzerartigen Schwanzbewegungen, viel Singvogelartiges in seinem Wesen.

Geheimrat Dr. *Reichenow* beobachtete, daß Stare nicht nur im Wasser, sondern auch im Schnee baden.

Major *v. Lucanus* legte einen flavistisch gefärbten Turdus iliacus vor von fast rein semmelgelber Farbe, und machte die Mitteilung, daß Haliaetus albicilla und Urinator arcticus in der Neumark brüten.

F. v. Lucanus.

Berichte gelehrter Gesellschaften.

Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien.

12. Juli. Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse.

Das k. M. Prof. *J. Herzog* übersendet eine Arbeit aus dem Chemischen Laboratorium der k. k. Deutschen Universität Prag von *Prof. Dr. Hans Meyer* und *Dr. Alice Hofmann*: „*Über Pyrokondensationen in der aromatischen Reihe.* (*3. Mitteilung.*)" Es werden die bei der Überhitzung von Ortho- und Paratoluidin, Benzonitril, Phtalimid, Chlor- und Tetrachlorphtalimid, Benzoesäure, Benzoesäuremethylester, Paratoluylsäure-

methylester, Phenol und Anisol auftretenden Reaktionen besprochen.

Prof. Dr. K. Brunner übersendet eine im Chemischen Institut der k. k. Universität in Innsbruck von G. Wahl ausgeführte Arbeit mit dem Titel: „Bz-Oxy-Indolinone“. Dem Verfasser ist es gelungen, ausgehend vom Ortho- und Para-Hydrazinanisol Indolinone zu gewinnen, die durch Kochen mit Jodwasserstoffsäure unter Abspaltung der Methylgruppe B-3- bzw. B-1-Pr-3,3-Dimethylindolinon lieferten.

1. „*Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung. Nr. 102. Die Absorption der γ-Strahlen von Radium (III. Teil)*“, von *K. W. F. Kohlrausch*. Es werden die Absorptionskoeffizienten μ_1 und μ_2 der beiden von Ra-C stammenden γ-Strahlungen in 30 chemischen Elementen bestimmt. Für die härtere Strahlung ergibt sich die Absorption pro Masseneinheit $\left(\frac{\mu_1}{\varrho}\right)$ als nahezu unabhängig vom Atomgewicht. Für die weichere Strahlung ergibt sich ein deutlicher Einfluß der Atomstruktur auf die Massenabsorption, in dem diese von $\frac{\mu_2}{\varrho} = 0.08$ bei Kohle bis $\frac{\mu_2}{\varrho}$ bei Wismut ansteigt. Die Kurve enthält unstätige Stellen. Die untersuchten Flüssigkeiten zeigen entsprechend dem additiven Charakter der Absorption je nach den beteiligten Atomen Werte von 0.054 bis 0.041 für $\frac{\mu_1}{\varrho}$.

2. „*Mitteilungen aus dem Institut für Radiumforschung. Nr. 103. Bestimmung der Halbierungszeit von Thorium- und Actiniumemanation*“, von *Dr. Rudolf Schmid*. Um zu ermitteln, ob Thorium- oder Actiniumemanation von Glas aborbiert wird oder nicht und somit die Messung der Halbierungszeiten beeinträchtigt werden, wurde auf drei verschiedene Methoden die Halbierungszeit von Thorium- und Actiniumemanation bestimmt und für Thoriumemanation die Halbierungszeit zu $T = 54.5 \pm 0.02$ sec, für Actiniumemanation zu $T = 3.92 \pm 0.015$ sec gefunden.

Das w. M. *Prof. H. Molisch* überreicht eine von *Friedrich Pichler* im Pflanzenphysiologischen Institut der Wiener Universität ausgeführte Arbeit, betitelt: „*Das Aeroplankton von Wien*“. Verfasser untersuchte die in der atmosphärischen Luft von Wien vorhandenen Keime von Mikroorganismen ausschließlich der Bakterien und die anderen organisierten Teilchen. Die von ihm gefundenen Resultate lassen interessante Schlüsse auf gewisse Krankheitserscheinungen (Heufieber, Platanenhusten) und auf andere biologische Phänomene zu.

Prof. Molisch legt ferner eine von *Karl Höfler* im Pflanzenphysiologischen Institut der Wiener Universität ausgeführte Arbeit vor, betitelt: „*Eine plasmolytisch-volumetrische Methode zur Bestimmung des osmotischen Wertes von Pflanzenzellen*“. Als „Grad der Plasmolyse“ wird das Volumsverhältnis zwischen dem plasmolysierten Protoplasten und dem Innenvolum der (durch die Plasmolyse entspannten) Zelle bezeichnet. Das Grundprinzip der Methode ist folgendes: Ist in einer Zelle nach Eintritt osmotischen Gleichgewichts der Grad der Plasmolyse $= G$ (z. B. $= 3/4$) und ist die Konzentration der plasmolysierenden Außenlösung $= C$ (z. B. $= 0.60$ GM Rohrzucker), so war — bei voller Semipermeabilität des Plasmas für Lösung und Zellsaftstoffe — der osmotische Wert der entspannten Zelle vor der Plasmolyse $O = C \times G$ (z. B. $0.60 \times 3/4 = 0.45$ GM Rohrz.).

Das w. M. *R. Wegscheider* überreicht eine im I. Chemischen Laboratorium der k. k. Universität Wien ausgeführte Arbeit von *J. Pollak* und *A. Baar*: „*Über die Verseifung von Dimethyl- und Diäthylsulfat durch Natriummethylat, beziehungsweise -äthylat*“. Dimethylsulfat wird durch Natriummethylat oder Natriumäthylat viel rascher verseift als wie Diäthylsulfat. Der Unterschied ist von anderer Größenordnung als bei der Reaktion der beiden Dialkylsulfate mit Methylalkohol oder Äthylalkohol. Natriumäthylat verseift beide Dialkylsulfate rascher als Natriummethylat.

Das w. M. Hofrat *K. Grobben* legt folgende vorläufige Mitteilung vor: „*Wissenschaftliche Ergebnisse der mit Unterstützung der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien aus der Erbschaft Treitl von F. Werner unternommenen zoologischen Expedition nach dem anglo-ägyptischen Sudan (Kordofan) 1914. Cestoden aus Säugetieren und aus Agama colonorum*, von *Lene Kofend*“.

Im Frühling dieses Jahres wurden von *Prof. R. Pöch* und Assist. *J. Weninger* neuerdings drei k. u. k. Kriegsgefangenenlager zur Fortführung der anthropologischen Arbeiten besucht, und diesmal außer russischen Völkern auch Serben, Montenegriner, Italiener und Rumänen photographiert und untersucht. Die Messungen an Russen sind nun zu einem relativen Abschlusse gelangt.

11. Oktober. Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse.

Das k. M. Hofrat *E. Heinricher* übersendet zwei Abhandlungen:

1. „*Warum die Samen anderer Pflanzen auf Mistelschleim nicht oder nur schlecht keimen*“. *J. v. Wiesner* hatte Hemmungsstoffe im Schleim, sowohl als die „Ruheperiode“ der Mistelsamen bedingend, als auch das Keimen anderer Samen auf dem Schleime behindernd oder schädigend erklärt. *Heinricher* hat nachgewiesen, daß bei Wahl der richtigen Außenbedingungen die Samen der Mistel überhaupt keine Ruheperiode haben, die keimungshemmende Wirkung des Mistelschleimes und ähnlicher Kolloide auf andere Samen aber führt er auf Grund seiner Versuche auf die physikalische Beschaffenheit des Mistelschleims und durch sie bedingte Störung der osmotischen Verhältnisse zurück.

2. „*Über tötende Wirkung des Mistelschleimes auf das Zellgewebe von Blättern und Sprossen*“. In dieser Abhandlung wird gezeigt, daß auf die Blätter von *Pelargonium inquinans* und von *Impatiens balsamina* mit ihrer Schleimhülle ausgelegte Mistelsamen in verhältnismäßig kurzer Zeit zu Reaktionen in den darunter gelegenen Blattgeweben führen, die mit Verfärbung derselben einsetzen und schließlich ihr Absterben hervorrufen. Die Erklärung für die gewebetötende Wirkung des Mistelschleimes wird im Anschluß an die erste Abhandlung auch hier in der physikalischen Natur des Schleimes und überhaupt ähnlicher Kolloide gefunden.

Prof. Dr. *Anton Lampa* in Prag übersendet eine Abhandlung: „*Über erzwungene räumliche Schwingungen von Saiten*“. Alle Punkte einer Saite, auf welche normal zu ihr in zwei aufeinander senkrechten Ebenen periodische Kräfte wirken, beschreiben im stationären Zustand Lissajoussche Schwingungsfiguren gleicher Klasse. Sind die Kräfte in den beiden Ebenen längs der Saite gleichartig verteilt und haben sie außerdem gleiche Frequenz, so bildet die Saite in jedem Moment der Bewegung eine ebene Kurve, in jedem anderen Fall eine Raumkurve, ausgenommen in gewissen Zeitpunkten, wo sie eben wird.

Das w. M. Hofrat Dr. *F. Steindachner* legt eine Abhandlung von Prof. *H. Rebel*: „*Lepidopteren aus Neumontenegro*“ vor. Dieselbe ist eine Bearbeitung des lepidopterologischen Teiles der Ausbeute, welche von Dr. *Arnold Penther* im Jahre 1916 in Serbien und Neumontenegro gemacht wurde. Die Ausbeute enthält 496 Lepidopterenarten, darunter einige neu zu beschreiben gewesene Formen und eine neue Tortricidenart. Die Arbeit gibt die ersten Nachrichten über die Lepidopterenfauna des Sandschak Novipazar.

Das w. M. *R. Wegscheider* überreicht zwei Abhandlungen aus dem I. chemischen Laboratorium der k. k. Universität in Wien: 1. „*Zur Kinetik der Reaktionen mit Elektrolyten im homogenen System*“, von *R. Wegscheider*. 2. „*Über die Methylierung mit Dimethylsulfat,*

seine Verseifung durch wässerig alkalische Lösung und Wasser im heterogenen System und einen Fall von Kaliumkatalyse", von *Alfons Klemenc.*

Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. (Stiftung Heinrich Lanz.)

6. Oktober. Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse.

Vorsitzender: Herr *Bütschli.*

Es werden folgende wissenschaftliche Arbeiten für die Sitzungsberichte und Abhandlungen vorgelegt:

1. Von Herrn *L. Königsberger* (Heidelberg): „*Über die Hamiltonschen Differentialgleichungen der Dynamik*". *II. Teil.*

Bevor in Fortsetzung der im ersten Teile für die Irreduktibilität von Differentialgleichungssystemen ausgeführten Untersuchungen auf die Diskussion der Integrale der Hamiltonschen Differentialgleichungen näher eingegangen wird, soll zunächst die Frage erörtert werden, welche Form diese in die *Jacobi-Weierstraßsche* Normalform transformierten Differentialgleichungen der Dynamik annehmen, wenn die Integrale des Energieprinzips und des Prinzips der Flächen zu deren Reduktion benutzt werden. Sodann wird die Beschaffenheit der Integrale nach Transformation der Differentialgleichungen in die Normalform mittels der Koeffizienten der Energie und deren nach den Parametern genommenen Differentialquotienten für den Fall untersucht, daß die *Abel-Weierstraßsche*, in unbestimmten Konstanten lineare Hilfsfunktion einer algebraischen Gleichung mit nur verschiedenen Lösungen genügt, und endlich für den Fall gleicher Lösungen derselben den Differentialgleichungen eine für die Untersuchung der Integrale geeignete Normalform gegeben.

2. Von Herrn *W. Deecke* (Freiburg): „*Über die Färbungsspuren an fossilen Molluskenschalen*".

An den Gehäusen fossiler Mollusken, wozu hier aus praktischen Gründen die Brachiopoden gerechnet werden, sind seit ältester Zeit einzelne Farbspuren bekannt. Es wird eine Tabelle davon gegeben und aus dieser abgeleitet, daß für die Erhaltung der Farben die firnisartige Deckschicht das wichtigste Element ist, daß ferner vorzugsweise glatte Gehäuse solche Reste zeigen und daß drittens hauptsächlich Fleischfresser dabei in Frage kommen, mit Ausnahme der Heliciden. Dann wird erörtert, bei welchen Formen überhaupt und unter welchen allgemeineren Bedingungen Farben auftreten und erhalten bleiben können, und auf den Gegensatz zwischen Schnecken und Ammoniten hingewiesen, welch letztere niemals irgendeine Färbungsspur erkennen lassen.

3. Von Herrn *G. Klebs* (Heidelberg): „*Zur Entwicklungsphysiologie der Farnprothallien*". *III. Teil.*

Diese dritte Abhandlung untersucht, wie weit die für das eine Farnkraut, Pteris longifolia, nachgewiesene Abhängigkeit der Formbildung von der Intensität und der spektralen Zusammensetzung des Lichtes auch für andere Farne gilt. Die Mehrzahl der neu geprüften Arten verhält sich wesentlich wie Pteris. Die roten Strahlen erregen die Keimung der Sporen, die blauen hemmen sie; jedoch ist der Grad der Hemmung je nach der Spezies verschieden. Es gibt 2 Farne, für deren Keimung die Brechbarkeit keine Bedeutung hat: der Adlerfarn (Pteridium) und der Königsfarn (Osmunda). Die Sporen von Pteridium keimen in jeder Lichtart wie im Dunkeln, diejenigen von Osmunda wesentlich nur im Licht, wobei die Brechbarkeit nur insoweit eine Rolle spielt, als davon die C-Assimilation abhängt. Bei der Mehrzahl der Farne fördern die roten Strahlen die Streckung; bei geringerer Intensität entstehen nur Keimfäden, bei höherer (direkte Sonne) die Prothallien. Das blaue Licht schränkt die Streckung ein, befördert die Quer- und Längsteilung, so daß auch bei geringeren Intensitäten die Prothallienbildung erfolgt. Die einzige Ausnahme ist der Königsfarn; bei ihm hängt die Farnbildung von der Größe der C-Assimilation ab; besondere Wirkungen der roten und blauen Strahlen sind nicht nachweisbar.

4. Herr *P. Lenard* (Heidelberg) legt die erste Hälfte einer zur Veröffentlichung in den Abhandlungen bestimmten Mitteilung: „*Quantitatives über Kathodenstrahlen aller Geschwindigkeiten*" vor, deren Inhalt dem Titel in eingehender Weise entspricht.

5. Von Herrn *P. Stäckel* (Heidelberg): „*Eine von Gauß gestellte Aufgabe des Minimums*".

Wie erst neuerdings bekannt geworden ist, hat *Gauß* Andeutungen über ein Verfahren gegeben, das Minimum einer Funktion von mehreren Veränderlichen zu bestimmen, wenn Ungleichheitsbedingungen vorgelegt sind. Die wirkliche Durchführung erfordert, wie der Verfasser zeigt, teils Erörterungen im Gebiete der mehrfach ausgedehnten Mannigfaltigkeiten, teils die Integration gewisser Systeme gewöhnlicher Differentialgleichungen. Durch die dabei auftretenden Kurven schnellster Abnahme erhält man einen neuen Eingang in die Lehre von den Euler-Lagrangeschen Multiplikatoren, zugleich ergibt sich ein neues Verfahren zur Lösung der Gaußschen Aufgabe, bei dem man mit den üblichen Mitteln (Differentiation und Elimination) ausreicht.

6. Von Herrn *E. A. Wülfing* (Heidelberg): „*Der Viridin und seine Beziehung zum Andalusit*".

Der Viridin, ein durch seine intensiv grüne Farbe ausgezeichnetes Mineral, wurde vor sechs Jahren am Unteren Lindenbergweg bei Darmstadt von Bergrat *Klemm* gefunden und von ihm als eine Abart des Andalusits beschrieben. Auch war dieses Mineral, wie sich nachträglich herausstellte, schon 1896 im südlichen Schweden gefunden und ebenfalls als eine Andalusitvarietät angesprochen worden. Indessen hat die jetzige Untersuchung ergeben, daß der Viridin vom Andalusit zu trennen ist. Allerdings sind die chemischen Zusammensetzungen sehr ähnlich, da der Viridin sich nur durch einen kleinen Mangan- und Eisengehalt von Andalusit unterscheidet. Aber die übrigen Eigenschaften des Viridins, insbesondere die optischen Verhältnisse, die der Verfasser hier genauer untersucht, weichen doch so stark von Andalusit ab, daß der Viridin als eine besondere Mineralspezies aufgefaßt werden muß. Das in der Natur vorkommende einfache Tonerdesilikat mit gelegentlicher Vertretung eines Teils der Tonerde durch Manganoxyd oder Eisenoxyd war bis dahin trimorph, nämlich als Andalusit, Disthen und Sillimanit bekannt. Zu ihm gesellt sich nunmehr als neue Art der Viridin, so daß eine Tetramorphie des einfachen Tonerdesilikates anzunehmen ist.

Es folgen einige geschäftliche Verhandlungen und Mitteilungen des Sekretärs sowie die Bewilligung von 400 M. zur Unterstützung eines wissenschaftlichen Unternehmens.

Sitzungsberichte der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

7. Juli. Sitzung der mathematisch-physikalischen Klasse.

1. Herr *v. Seeliger* legt vor eine Abhandlung von Prof. *Großmann* in München: *Untersuchungen über die astronomische Refraktion.* Die Klasse beschließt Aufnahme in die Abhandlungen.

2. Herr *P. v. Groth* bespricht die Entstehung der durch ihre Bergkristalle und andere Mineralien bekannten sogenannten *Mineralklüfte* der Zentralalpen und legt eine darauf bezügliche Arbeit von *J. Koenigsberger* über die *Minerallagerstätten von Valz-Platz in Graubünden* nebst einer geologischen Karte dieses Teiles des Adulamassivs mit Angabe der Mineralfundorte zur Publikation in den Abhandlungen vor.

3. Herr *R. Willstätter* spricht: *Über Cocain und Atropin.* (Wird später veröffentlicht.)

Für die Redaktion verantwortlich: *Dr. Arnold Berliner,* Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann in Berlin SW.

Die Naturwissenschaften

berichten über alle Fortschritte auf dem Gebiete der reinen und der angewandter Naturwissenschaften im weitesten Sinne. Sendungen aller Art werden erbeten unter der Adresse:

Redaktion der „Naturwissenschaften"

Berlin W 9, Link-Str. 23/24.

Manuskripte aus dem Gebiete der biologischen Wissenschaften wolle man an Prof. Dr. A. Pütter, Bonn a. Rh., Coblenzer Str. 89, richten.

erscheinen in wöchentlichen Heften und können durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 24.— für den Jahrgang, M. 6.— für das Vierteljahr, bezogen werden. Der Preis des einzelnen Heftes beträgt 60 Pf.

Anzeigen werden zum Preise von 50 Pf. für die einspaltige Petitzeile angenommen.

Bei jährlich	6	13	26	52 maliger Wiederholung
	10	20	30	40 % Nachlass.

Verlagsbuchhandlung von Julius Springer, Berlin W 9, Link-Str. 23/24.
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Telegrammadresse: Springerbuch.
Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank, Depositen-Kasse C.
Postscheck-Konto: Berlin Nr. 11100.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Ueber funktionelle Anpassung

ihre Grenzen, ihre Gesetze in ihrer Bedeutung für die Heilkunde

Von Dr. med. **Willi G. Lange**
Charlottenburg

Nach dem Tode des im Felde gefallenen Verfassers herausgegeben von **Wilhelm Roux**

Preis M. 2.40

Handbuch der Mineralchemie, herausgegeben von C. Doelter,
Handbuch der regionalen Geologie, herausgegeben von G. Steinmann und O. Wilckens
Goldschmidt, V., **Atlas der Kristallformen,**
Handwörterbuch der Naturwissenschaften,
liefert zur Erleichterung der Anschaffung auf Wunsch gegen erleichterte Zahlungsbedingungen. Anfragen erbeten an

Buchhandlung Hermann Meusser,
BERLIN W 57/9, Potsdamerstraße 75.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie

Jahrbuch des Vereines deutscher Ingenieure

Herausgegeben von

Conrad Matschoß

Vor kurzem erschien:

Siebenter Band

Mit 70 Textfiguren und zwei Bildnissen — Preis M. 6.—; gebunden M. 8.—

Inhalt des VII. Bandes:

Geschichtliche Entwicklung der Berliner Elektrizitätswerke von ihrer Begründung bis zur Uebernahme durch die Stadt. Von Prof. Dipl.-Ing. Conrad Matschoß, Berlin.

Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der technischen Mechanik. Von Dr.-Ing. h. c. und Dr. phil. h. c. A. von Rieppel und Dr.-Ing. L. Freytag, Nürnberg.

Die Spurweite der Eisenbahnen und der Kampf um die Spurweite. Ein Abschnitt aus der Entwicklungsgeschichte der Eisenbahnen. Von Dr. Karl Keller, München, vormals Professor in Karlsruhe.

Die geschichtliche Entwicklung der Dampfkesselaufsicht in Preußen. Von Dipl.-Ing. Dr. jur. Hilliger, Berlin.

Beitrag zur Geschichte der Eisenbrücken in Ungarn. Von Dr.-Ing. Hugo Fuchs, Prag.

Daniel Peres. Lebensbild eines Vorkämpfers der Solinger Meßmachertechnik. Von Oberingenieur Franz Hendrichs, Charlottenburg.

Nikolaus Riggenbach. Zu seinem hundertjährigen Geburtstag. Von Dr. Karl Keller, München, vormals Professor in Karlsruhe.

Keltern einst und jetzt. Von Prof. Dr.-Ing. Häußer, z. Zt. im Felde.

Zur Geschichte der Dynamomaschine. Die Entwicklung des Dynamobaues bei der Firma Siemens u. Halske (1866—1878). Von Prof. Dr. Adolf Thomälen, Karlsruhe.

Beiträge zur außereuropäischen und vorgeschichtlichen Technik. Von Dr.-Ing. Hugo Theodor Horwitz.

Preis von Band I—V je M. 8.—, gebunden je M. 10.—;
Band VI M. 6.—, gebunden M. 8.—.

Gebundene Bücher z. Zt. mit 10 % Zuschlag für Einbandmehrkosten

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Werner Siemens

Ein kurzgefaßtes Lebensbild nebst einer Auswahl seiner Briefe

Aus Anlaß der 100. Wiederkehr seines Geburtstages

Herausgegeben von

Conrad Matschoß

Zwei Bände

In Halbpergament gebunden Preis M. 20.—

Lebenserinnerungen

Von

Werner von Siemens

Mit dem Bildnis des Verfassers

Wohlfeile Volksausgabe. Zehnte Auflage.

In Leinwand gebunden Preis M. 2.40 Geschenkausgabe.

Dritte Auflage. (Vierter unveränd. Abdruck).

In Halbleder gebunden Preis M. 7.—

Emil Rathenau

und das Werden der Großwirtschaft

Von

A. Riedler

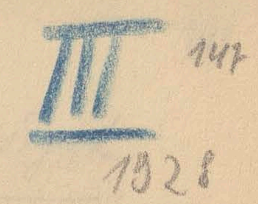
Geheimer Regierungsrat, Professor an der Technischen Hochschule zu Berlin

Preis M. 5.—; in Leinwand gebunden M. 6.—

Gebundene Bücher z. Zt. mit 10% Zuschlag für Einbandmehrkosten

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann in Berlin SW.

81.



LXXXVIII

s. 138-152

M. SMOLUCHOWSKI.

KOBIETY
W NAUKACH ŚCISŁYCH.

(ODCZYT Ś. P. PROF. M. SMOLUCHOWSKIEGO, WYGŁOSZONY W R. 1912 W ZWIĄZKU NAUKOWO-LITERACKIM WE LWOWIE).

Osobne odbicie z zeszytu XII. „Roku polskiego“.

N° 11.

KRAKÓW.
Czcionkami Drukarni Związkowej pod zarządem A. Szyjewskiego.
1918.

XI. Kobiety w naukach ścisłych

Odczyt wygłoszony w Związku Naukowo-Literackim we Lwowie, w r. 1912-ym: Rok polski, 1918.

Człowiek starej daty, któryby się znalazł na dzisiejszem zebraniu, zadziwiłby się niemało już samym doborem tematu, o którym mam mówić. Kobiety w naukach ścisłych? Wszak aż do ostatnich czasów temi naukami wogóle nigdy nie zajmowały się i przyczynek kobiet do rozwoju nauk ścisłych jest znikomo mały!

Na tem też istotnie opierał się jeden z głównych argumentów, mających uzasadnić rzekomą niższość intelektualną kobiet. Nie zajmują się matematyką, ani fizyką, ani chemją, gdyż nie są zdolne do tego, gdyż wogóle nie potrafią myśleć logicznie! Sztuka, literatura są dla nich jeszcze przystępne, ale nauki wymagające przed wszystkiemi innemi matematycznej ścisłości myślenia i chlubiące się mianem nauk ścisłych, te nauki zawsze pozostaną im obce.

Dziś zapatrywania ogółu na tę sprawę już znacznie się zmieniły. Dogmat o zasadniczej nielogiczności umysłu kobiecego przeszedł do składu starych przesądów. Zapewne, dużo jest i takich kobiet, które mówią podług Sienkiewicza, że dwa i dwa to jest lampa; ale odkąd szkoły średnie, a częściowo i wyższe, otworzono kobietom, odkąd wogóle poziom wykształcenia ich zbliżył się do poziomu wykształcenia męskiego, spostrzeżono ze zdziwieniem, że kobiety potrafią całkiem dobrze myśleć, jeżeli przeszły odpowiednie wyszkolenie i jeżeli do tego mają ochotę.

Absolwentki gimnazjów naszych niegorzej i nielepiej znają się na sinusach, cosinusach, logarytmach niż chłopcy; na uniwersytecie słuchają również wykładów matematyki wyższej, fizyki,

chemji z równym skutkiem. Profesorowie, którzy pod tym względem nabrali doświadczenia, twierdzą, że studentki nawet może przewyższają studentów w bystrości pojmowania, sumiennej pilności, oraz w łatwości przyswajania sobie materjału, jakkolwiek pod innym względem, co do samodzielności myślenia mężczyzni stoją wyżej.

W Anglji i Ameryce od znacznie dłuższego już czasu niż u nas studyum uniwersyteckie jest dostępne dla kobiet; początek zrobiły Queen's College i Bedford College, należące do Uniwersytetu w Londynie, które już od roku 1848 dają im wyższe wykształcenie; tam też liczba kobiet, które złożyły egzamina uniwersyteckie, które zdobyły stopnie naukowe, bakalaureaty, doktoraty w dziedzinie nauk ścisłych, jest olbrzymia. W Ameryce kobiety jako nauczycielki w szkołach niższych i średnich zajmują miejsce pierwszorzędne, nawet wypierają coraz bardziej mężczyzn; i nie dziwimy się temu, wszak wiemy, że posiadają wogóle zamiłowanie i zdolność do pracy pedagogicznej, a zrozumienie dla nauki mają takie samo, jak mężczyzni. I spotykamy się tam z coraz bardziej rosnącą liczbą kobiet-profesorów, wykładających matematykę, fizykę, chemję i nauki opisowo przyrodnicze na stopniu uniwersyteckim. Słynny uniwersytet Cambridge, ognisko nauk ścisłych w Anglji, obejmuje w liczbie 17 kolegiów także dwa kolegia, wyłącznie dla kobiet przeznaczone, Girton College i Newnham College, w których cały personal nauczycielski jest kobiecy. W Stanach Zjednoczonych istnieją dwa uniwersytety dla kobiet: Bryn Mawr College w Pensylwanji i Wellesby College w Massachussetts. Pierwszy posiada personal mieszany; tam n. p. profesorami fizyki i chemji są mężczyzni, podczas gdy katedrę matematyki wyższej zajmuje od przeszło 20 lat panna Charlotte Scott, podobno matematyczka niepośledniej miary. W drugim wszystkie profesury są zajęte przez kobiety.

Nie ulega zatem żadnej wątpliwości i każdy to dzisiaj przyznać musi, że między kobietami znajduje się spora liczba, może nie mniej niż między mężczyznami, takich, które potrafią nabyć gruntowne wyszkolenie w zakresie nauk ścisłych, które są zdolne objąć cały obszar i całą głębię tych nauk. Są one zdolne do nauczenia się, a także zdolne do uczenia innych; ale jeszcze kwestya się nasuwa i nią głównie dzisiaj się zajmiemy: czy są one zdolne do samodzielnej twórczej

pracy naukowej ~~w tym zakresie~~ i czy dorównują ~~one~~ mężczyznom w produktywności naukowej?

Pod tym ~~ostatnim~~ względem niewątpliwie sprawa przedstawia się ~~całkiem~~ odmiennie. Do tego stosują się słowa na wstępie powiedziane, że aż do bardzo niedawna zasługi kobiet koło postępu nauk ścisłych były prawie równe zeru. Nawet i dzisiaj produktywność naukowa kobiet, — z wyjątkiem jednej, o której jeszcze dalej będzie mowa, — w zakresie tych nauk jest, *une quantité négligeable*, pomimo że twórczość ich w literaturze, sztuce, poezji tak zaszczytne, często pierwszorzędne zajmuje miejsce.

Z pewnością możnaby przytoczyć sporo nazwisk kobiet uczonych, które stworzyły prace ~~z~~ pewnej wartości naukowej. Niedawno np. zwrócono uwagę na badania pewnej Angielki, Mrs. Fulhame, z zakresu chemji, wydane w Londynie 1794 r., w której autorka podała różne ~~ciekawe~~ spostrzeżenia nad tem, co dzisiaj nazywamy roztworami koloidalnemi złota i srebra.

Z dzisiejszych czasów wymienię ~~Angielkę~~ Mrs. Sidgwick siostrę byłego premiera ~~ministrów~~ Balfoura, a wdowę po profesorze H. Sidgwick, stojącą dzisiaj na czele Newnham College w Cambridge, która w latach 1880—84 udział brała w nadzwyczajnie starannych, precyzyjnych pracach doświadczalnych słynnego fizyka Lorda Rayleigh'a nad ustaleniem jednostek elektrycznych. Wymienić wypada dalej ~~Angielkę~~ Mrs. Herthę Ayrton, żonę profesora ~~elektrotechniki~~ Ayrtona w Londynie, która wykonała ~~ciekawe~~ badania nad łukiem elektrycznym, ogłosiła dzieło naukowe o tym ~~samym~~ przedmiocie, w roku 1902 nawet była proponowaną na członka Royal Society w Londynie, jednak ze względów formalnych t. j. z powodu, że jest kobietą nie została wybraną. Możnaby wymienić ~~Niemkę~~ Agnes Pockels, ~~Amerykankę~~ Miss Benson, ~~Holenderkę~~ Van der Noot, które wykonywały badania eksperymentalne z dziedziny zjawisk włoskowatości, ~~Niemkę~~ Lizę Meitner, pracującą na polu promieniotwórczości; ~~a~~ zapewne jeszcze niejedno inne nazwisko możnaby dorzucić z zakresu matematyki, chemji lub astronomii.

Przyznać trzeba jednak, że nazwiska te utkwiły nam w pamięci właśnie tylko dla tego, że były to kobiety, sam zaś przyczynek naukowy od ~~nich~~ pochodzący, jest tak drobny, że ginie w powodzi prac równie ważnych lub bez porównania ważniejszych, ~~jakie~~ inni uczeni wykonali i wykonują.

Zresztą ażeby nie polegać wyłącznie na własnym sądzie subjektywnym, biorę do ręki Auerbacha *Geschichtstafeln der Physik*, zawierające wyliczenie wszystkich ważniejszych odkryć i badań na polu fizyki oraz nauk pokrewnych w i żadnego z owych nazwisk tam nie znajduję. Wogóle pośród przeszło 1300 nazwisk tam wymienionych spotykamy tylko trzy nazwiska kobiet; sądzę, że istotnie jedynie te trzy nazwiska mają znaczenie więcej niż efemeryczne w historji nauk ścisłych; i niemi wypada nam obecnie zająć się nieco więcej szczegółowo, jeżeli pragniemy sobie wyrobić zdanie o istotnych zasługach uczonych kobiet.

Są to: Mademoiselle Sophie Germain, Zofja Kowalewska i Marja ze Skłodowskich Curie. Mademoiselle Sophie Germain jest znana we fizyce teoretycznej jako autorka słynnej pracy o drganiach płyt sprężystych, która co prawda później okazała się błędną, ale mimo to posiadała pewne znaczenie dla postępu nauki. Ażeby przedmiot tych badań nieco bliżej objaśnić, pozwolę sobie przypomnieć owe bardzo efektowne doświadczenia, w których płyty sprężyste, np. okrągłe albo kwadratowe kawały grubej blachy mosiężnej, przymocowane na odpowiednim statywie, zostają pobudzone do drgań poprzecznych, np. zapomocą pociągnięcia smyczka skrzypcowego w jednym punkcie brzegu. Jeżeli na taką płytę nasypiemy nieco miałkiego piasku, wówczas owe drgania układają go w ładne regularne figury, których kształt zależy od kształtu płyty, oraz od sposobu, jak została pobudzona do drgań.

Odkrył to zjawisko Chladni pod koniec XVIII. wieku; podług niego nazwano je „*Chladni'sche Klangfiguren*"; te doświadczenia te, spopularyzowane przez dzieła Chladniego (1802 r.) i przez jego wykłady publiczne, szerokiego wówczas nabyły rozgłosu w Niemczech i Francji.

Na życzenie Napoleona, którego zajęły owe doświadczenia, Akademja Francuska rozpisała w roku 1809 nagrodę za pracę, którąby te zjawiska teoretycznie wyjaśniła. Chodziło tu zatem o rozwiązanie problemu matematycznego: jak drgania takiej płyty się odbywają, a było to tem trudniejsze, że ogólna, matematyczna teorja zjawisk sprężystości wówczas jeszcze nie była znana. W roku 1811 panna M. Germain nadesłała pracę Akademji, słynny matematyk Lagrange jednak, który zasiadał w Komisji osądzającej, odkrył błąd w rachunkach. W poprawionej formie praca znów

została przedstawiona Akademji i w roku 1815 nagroda owa została przyznana autorce, która w dalszym ciągu jeszcze swe badania nad tym samym przedmiotem uzupełniała.

Wiemy dzisiaj, jak wspomniałem, że część wyników owych prac, także poprawionej, była błędna. W tego rodzaju zagadnieniach chodzi mianowicie o wyprowadzenie tak zwanego równania różniczkowego, które określa zachowanie się punktów powierzchni płyty, i powtóre o wyprowadzenie t. zw. warunków krańcowych, które określają sposób, jak brzegi płyty podczas ruchu się zachowują. Pierwsze równanie było poprawne, ale warunki krańcowe były błędne, i wskutek tego też sam rezultat końcowy fałszywy. Zresztą jest to przedmiot najeżony niezwykłemi trudnościami. wszak i znany matematyk Poisson, powracając do tego samego problemu w roku 1829, podał inne warunki krańcowe, niż panna Germain, ale również błędne. Dopiero Kirchhoff w r. 1850 znalazł właściwe, do owego przypadku się stosujące warunki krańcowe i podał zupełne rozwiązanie zagadnienia dla płyt okrągłych, ale odpowiedni rachunek dla płyt kwadratowych takie przedstawiał trudności, że po licznych usiłowaniach ze strony różnych fizyków i matematyków dopiero przed trzema laty (1909) rozwiązanie jego zostało znalezione. Dokonał tego niezwykle utalentowany, w wieku młodocianym trzydziestu lat zmarły fizyk szwajcarski Walter Ritz, któremu przyznana została za to nagroda Akademji Francuskiej *Prix Lecomte*, ale niestety już po śmierci.

Powracając do pracy panny Zofji Germain, przyznać trzeba, że był to czyn naukowy, wybitny na owe czasy, i jako taki też mimo późniejszej krytyki zachowuje miejsce zaszczytne w historji fizyki matematycznej. Co do osobistości autorki, nie wiele podać potrafię szczegółów interesujących, gdyż życie jej nie odznaczało się barwnością wypadków, a w jaskrawem przeciwieństwie do epoki, na którą przypadało: 1776 aż do 1831. Znakomity leksykon biograficzny nauk ścisłych Poggendorffa powiada lakonicznie: „*Keine nähere Nachricht von ihren Lebensverhältnissen; war unverheiratet*“, natomiast w *Biographie Universelle Michaud* znajdujemy życiorys szczegółowy, napisany z dużem ciepłem. Zdaje się, że to nie przypadkowa tylko koincydencja, że właśnie na burzę rewolucyi francuskiej przypada pojawienie się osobistości tak niezwykłej, jak panna Germain.

Nie dążyła ona jednak śladem owych kobiet, które na równi z mężczyznami walczyły na barykadach. Przeciwnie, przerażał ją całym tem zgiełk wojny domowej, w której i jej rodzina pewien bezpośredni brała udział, gdyż ojciec jej był członkiem *de l'assemblée constituante*. Za ideał jako dziecko 13-letnie obrał sobie Archimedesa, który zadumany w swych geometrycznych poszukiwaniach, nie zauważył, wcale, jak nieprzyjaciel zajął miasto oblężone i wtargnął do jego domu. Odtąd mimo oporu rodziców poświęciła się studowaniu dzieł matematycznych, kształcąc się jako samouk, często nawet potajemnie spędzając noce nad książką.

Słynny matematyk Lagrange poznał się na jej zdolnościach, gdy później pod przybranem nazwiskiem, podając się za ucznia szkoły politechnicznej, jemu przesłała swe wypracowania matematyczne. Dowiedziawszy się przypadkowo, kto był ich autorem, odwiedził pannę Germain; odtąd zapoznawali się z nią i schadzali się w jej domu wybitni uczeni, pociągani osobistością uczonej matematyczki i jej darem konwersacji; biograf powiada, że rozmowa jej posiadała elegancję pięknego wzoru matematycznego Laplace'a, a często nawet odznaczała się natchnieniem poetycznem. Ubóstwiała ona przedewszystkiem harmonję i p o r z ą d e k; badała prawidła matematyki, podziwiała wieczny porządek w prawach przyrody, pragnęła porządku, harmonji i sprawiedliwości w urządzeniach społecznych.

Ale nawet nie znając wcale żadnych bliższych szczegółów biograficznych, sądząc jedynie podług działalności naukowej panny Germain, odrazu poznajemy, że trzeba ją zaliczyć do typów umysłowych, które Ostwald nazywa „klasykami", w przeciwstawieniu do „romantyków".

Czyż to nie jest charakterystyczne, że w ciągu 17 lat wciąż tem samem dość zresztą specjalnem zagadnieniem się zajmowała, że napisała p i ę ć prac nad tym przedmiotem, stopniowo poprawiając i uzupełniając swoje badania, że żadną inną wybitniejszą pracą się nie wsławiła. Świadczy to chyba o skłonności do ciągłych, cierpliwych i starannych usiłowań w jednym kierunku, jakiej niejeden mężczyzna by mógł pozazdrościć.

Całkiem odmiennym typem umysłowym była druga uczona, przedtem wymieniona: Zofja Kowalewska; umysłowość, objawiająca się w nauce, łączyła się ściśle też z usposobieniem, jakie znamy z biografji, listów i pamiętników.

Charakter niestały, zmienny w sympatyach i antypatyach, działający impulsywnie, często wprost nierozsądnie, bez zastanowienia, usposobienie, wahające się między ekstazą i przygnębieniem, umysł nadzwyczajnie ruchliwy, garnący się z zapałem niesłychanym do wszystkiego, co zajmujące i porywające, do nauki, literatury, socyalizmu, prądów wolnościowych. A w badaniach naukowych: czyż to nie uderzające, że prace, które ogłosiła, a w liczbie sześciu, a odnoszą się do pięciu najzupełniej różnych, odrębnych przedmiotów.

Pierwsza z nich, rozprawa doktorska, dotyczyła teoryi cząstkowych równań różniczkowych; w drugiej autorka opracowywała pewne zagadnienia z nadzwyczajnie trudnej i nieprzystępnej dziedziny matematyki t. zw. całek Abel'a; trzecia rozprawa odnosiła się do przedmiotu z zakresu fizyki teoretycznej: załamania światła w ośrodkach krystalicznych, czwarta do badań Laplacea nad obręczami Saturna, a wreszcie piąta i szósta praca do pewnego klasycznego zagadnienia z dziedziny mechaniki, do ruchu obrotowego ciała sztywnego. Te ostatnie dwie prace imię Kowalewskiej najwięcej wsławiły i za nie została ona nagrodzoną przez Akademję Francuską przyznaniem nagrody Prix Bordin (1888).

Ażeby choć kilku słowami wyjaśnić, co jest przedmiotem tego zagadnienia, pozwolę sobie przypomnieć zabawkę dziecinną: bąk wirujący. Jeżeli bąk taki, nie wprowadzając go w ruch obrotowy, postawimy na stole tak, ażeby koniec osi jego utkwił w małem wydrążeniu, bąk mimo to się przewróci pod działaniem ciężkości. Jeżeli mu jednak nadamy ruch obrotowy, bąk zachowuje się całkiem odmiennie, nie wywraca się pod wpływem ciężkości, tylko tak się porusza, że oś jego opisuje rodzaj stożka na około pionu. Otóż ruch ten da się obliczyć z całą ścisłością na podstawie zasad mechaniki; można najdokładniej przewidzieć, jakie kolejne pozycye oś będzie zajmować, z jaką prędkością będzie zmieniać swój kierunek i t. d. To zagadnienie już Lagrange rozwiązał pod koniec wieku osmnastego. Natomiast mimo licznych wysiłków nie udało się matematykom rozwiązać zadania ogólnego, t. j. przypadku, gdzie kształt ciała obracającego się nie posiada symetryi obrotowej jak bąk, tylko jest dowolny i gdzie stały punkt, około którego obrót się odbywa, ma pozycyę dowolną. Otóż Kowalewskiej udało się znaleść jeszcze jeden specyalny przy-

padek, w którym to obliczenie daje się wykonać; w ostatnich latach matematycy, pobudzeni do dalszych badań przez pracę Kowalewskiej, nawet udowodnili, że są to wogóle jedyne przypadki, w których rachunek może być w ten sposób wykonany.

Jak dalece współcześni uczeni cenili talent Kowalewskiej, o tem świadczy nekrolog, napisany w „Neues Journal für Mathematik", przez słynnego niemieckiego matematyka prof. Kroneckera, w którym między innemi powiedział: *„Sie verband mit einem ausserordentlichen Talent, sowohl für allgemeine mathematische Spekulation, als auch für die bei der Ausführung spezieller Untersuchungen notwendige Technik, gewissenhaften und unermüdlichen Fleiss; hielt bei intensivster Fachtätigkeit stets ihren Sinn für andere geistige Interessen offen; bewahrte dabei immer ihre Weiblichkeit und erwarb und erhielt sich darum im Verkehr auch die Sympathien derjenigen, die ausserhalb ihres fachwissenschaftlichen Kreises standen. Die Geschichte der Mathematik wird von ihr als einer der merkwürdigsten Erscheinungen unter den überhaupt äusserst seltenen Forscherinnen zu berichten wissen. Ihr Gedächtnis wird durch die zwar nicht zahlreichen, aber wertvollen Arbeiten, welche sie veröffentlicht hat, in der ganzen mathematischen Welt fortdauern"*.

W przeciwieństwie do Zofii Germain, umysłowość Zofji Kowalewskiej uwydatnia jaskrawo cechy typu „romantycznego" (według Ostwalda): ruchliwość, albo raczej burzliwość umysłu, wrażliwość, intensywność wysiłków krótkotrwałych, to co się zwykle określa słowem „genialność". Ażeby uniknąć nieporozumienia, zaznaczę jednak wyraźnie, że słowo „romantyczność" oznacza tu wyłącznie tylko pewne usposobienie intelektualne, a nie romantyczność uczuciową w powszednim tego słowa znaczeniu. Pod tym ostatnim względem, przeciwnie, pisma i listy pozostałe dowodzą, że Kowalewska, która wyszła za mąż tylko dlatego, ażeby wydostać się z nieznośnych stosunków domowych i móc się oddać nauce, przez całe życie pragnęła daremnie poznać to, co nazywała „ptakiem niebieskim" i co zajmuje takie naczelne często miejsce w życiu innych kobiet. Zdaje się, że żywo odczuwała ten brak i że to było jedną z tragedyj jej życia.

Co do tej strony jej życia, powstała nawet pewnego rodzaju polemiczna literatura, dzięki biografom Kowalewskiej, których interesowały zdarzenia jej życia prywatnego stokroć razy więcej niż

jej znaczenie w nauce. Dziwna rzecz, że mężczyzna uczony wy-
stępuje zawsze jako coś prawie nie osobowego, jako autor pe-
wnych prac naukowych, i wyłącznie według wartości tych prac
osądza się jego znaczenie, bez względu na jakiebądź strony życia
prywatnego. Gdy zaś chodzi o kobietę uczoną, wszyscy intere-
sują się przedewszystkiem jej życiem prywatnem, które przecież
najzupełniej obojętne jest przy ocenie zasług naukowych, i jak
łatwo przytem o rzucanie podejrzeń, właściwie nic do rzeczy nie
mających, a przecież krzywdzących w oczach ogółu.

Właśnie dlatego też, że obchodzi nas tu strona naukowa,
a nie prywatna życia Kowalewskiej — burzliwego zresztą, jak
burzliwym był jej umysł i ciekawego, jak ciekawą była cała ta
osobistość — ograniczę się do kilku tylko dat biograficznych.

Była córką generała rosyjskiego Korwina Krukowskiego, uro-
dzona 1851 r. w Moskwie; mając lat 17, wyszła za mąż (na razie
tylko pozornie) za prof. paleontologji Kowalewskiego, co umożli-
wiło jej studjowanie matematyki w Heidelbergu, Berlinie i Ge-
tyndze, gdzie 1874 r. złożyła doktorat. Życie rodzinne nie było
szczęśliwe; spędzała też dosyć czasu na wyjazdach za granicę
i tak w r. 1883 w Paryżu doszła ją wiadomość, że mąż wskutek
trudności finansowych popełnił samobójstwo. Wówczas została
powołana w r. 1884 jako docentka, a wkrótce jako profesor ma-
tematyki do uniwersytetu do Sztokholmu i na tem stanowisku roz-
winęła właśnie swoją działalność naukową, zbyt krótką niestety,
gdyż w r. 1891 nagle zmarła na zapalenie płuc.

Gdyby śmierć nie była tak przedwcześnie położyła kresu jej
działalności, niewątpliwie rola Kowalewskiej w dzisiejszej matema-
tyce i fizyce teoretycznej byłaby donioślejsza. Tak w ciągu sie-
dmiu lat swej profesury dała świadectwa niezwykłego uzdolnienia,
przebłyski genjalne, ale zawsze są to raczej drobiazgi, nie zdołała
stworzyć nowych dziedzin wiedzy, otworzyć nowych dróg postępu
badaniom w nauce, do czego prawdopodobnie przed wszyst-
kiemi innemi kobietami była uzdolniona.

Pod względem znaczenia ogólno-naukowego działalność na-
szej rodaczki pani Curie-Skłodowskiej, do której obecnie prze-
chodzę, jest niewątpliwie w skutkach wiele donioślejsza. Imię to dzi-
siaj nabyło rozgłosu, jakim żadna inna kobieta uczona się nie
cieszyła i niewątpliwie też trwale zostanie zapisane na wybitnem
miejscu w historji fizyki i chemji.

Niestety trudno podać w krótkim czasie choćby pobieżny rzut oka na pole działalności pani Curie-Skłodowskiej; bo są to rzeczy nowe, dziedzina zjawisk całkiem nowych, niezwykłych, a jak kolosalny jest materyał już na tem polu nagromadzony, o tem świadczy chyba objętość najnowszego dzieła pani Curie „*Traité de Radioactivité*”, w którem autorka w dwóch tomach, o łącznej objętości blisko 1000 stron, daje lakoniczny, zwięzły opis pracy swej oraz innych uczonych na polu zjawisk promieniotwórczości. Ograniczyć się więc musimy do zaznaczenia jedynie rysów zasadniczych.

Co do szczegółów osobistych, wspomnę tylko tyle, że Marya Skłodowska urodziła się w Warszawie w 1867 r., studyowała w mieście rodzinnem, później w Paryżu, pracując na polu chemji i fizyki w Sorbonie; tam poznała pana Pierre Curie, wówczas już wybitnego, znanego uczonego, który jednak [illegible] tylko powoli w swej karyerze postępował. Był wówczas asystentem w Sorbonie i równocześnie „*Chargé de Cours*” t. j. docentem płatnym w miejskiej szkole techniczno-przemysłowej „*Ecole de Physique et Chimie Industrielle*”. W roku 1895 został wreszcie profesorem i ożenił się z panną Skłodowską; odtąd małżonkowie, po części wspólnie, po części osobna wykonywali pracę doświadczalną w prymitywnem, prowizorycznie urządzonem laboratoryum owej szkoły.

Wówczas odkrycie promieni Röntgena (1895), o tak cudownych, niespodziewanych właściwościach, wstrząsnęło światem naukowym; w ślad za niem poszło odkrycie przez francuskiego fizyka Becquerela (1896 r.) promieni wydawanych przez Uran. Wydawało się to jeszcze dziwniejszem; bo dla promieni Röntgena przynajmniej wskazać możemy źródło energji: prąd elektryczny, który je wytwarza; natomiast uran i wszystkie związki chemiczne uranu wysyłają s t a l e i t r w a l e owe promienie, nie podlegając pozornie same przez się żadnym zmianom, tak, że początkowo wielką to było zagadką, skąd się bierze energja owych promieni.

Kwestyami temi [illegible] zajęła się także p. Curie; podjęła naprzód systematyczne studyum doświadczalne promieniotwórczości w różnych substancyach celem wyszukania tych, które to zjawisko wyraźnie okazują. Osobliwością [illegible] promieni Bequerela jest to, że nie działają one bezpośrednio na oko ludzkie (przynajmniej jeżeli nie są zbyt silne), więc dają się

wykryć tylko drogą pośrednich skutków, które wywołują; tej tem, że działają na płytę fotograficzną tak jak i światło, więc można je fotografować; a po drugie tem, że powietrze i wogóle gazy, przez które przechodzą, zamieniają w przewodniki elektryczności. W zwykłych bowiem warunkach powietrze jest doskonałym izolatorem elektryczności, tak że n. p. elektroskop naładowany elektrycznością, jeżeli dobrze jest skonstruowany, może swój nabój zatrzymać miesiącami. W obecności promieni Becquerela jednak powietrze, jak powiadamy, ionizuje się, staje się przewodnikiem elektryczności; objawia się to opadaniem listków elektroskopu, a szybkość, z którą to następuje, będzie (w jednakowych warunkach doświadczenia) miarą natężenia promieni Becquerela, będących źródłem tego przewodnictwa. Otóż z tych dwóch metod Becquerel i inni fizycy używali przedewszystkiem metody fotograficznej, natomiast p. Curie zaczęła używać systematycznie metody elektrycznej, która tę posiada wyższość, że bezpośrednio daje sposób porównania ilościowego, liczbowego promieniotwórczości, podczas gdy metoda fotograficzna daje tylko bardzo grube wskazówki jakościowe.

Otóż pomiary wykonane przez panią Curie dowiodły, że ze znanych wówczas pierwiastków chemicznych jedynie uran i tor (metal odkryty niegdyś przez Berzeliusa), oraz wszystkie związki chemiczne tych pierwiastków posiadają właściwość promieniotwórczości w dostrzegalnym stopniu; i tak samo też pomiędzy różnemi minerałami, przynajmniej tym, które były dostępne pani Curie, tylko rudy uranowe i torowe tą właściwością się odznaczają. Co jednak najdziwniejsze było: pokazało się, że rudy uranowe, n. p. blenda smolna z Joachimstal w Czechach, posiadają promieniotwórczość trzykrotnie wyższą od uranu czystego, który przecież tylko część (dwie trzecie) owej rudy wypełnia. Nie dało się to inaczej wytłómaczyć jak tylko w ten sposób, że w owej rudzie oprócz Uranu jeszcze inna, dotychczas nieznana substancja promieniotwórcza jest zawarta; Obecnie pani Curie postawiła sobie zadanie znaleźć tę nieznaną substancyę; do badania tego przyłączył się także pan Curie, porzucając dawniejsze swoje poszukiwania z zakresu magnetyzmu.

Jakim sposobem jednak wydzielić tę substancyę, o której nic *a priori* nie było wiadomem, jak tylko to, że jest promieniotwórcza? Metoda była zupełnie oryginalna i logicznie obmyślana.

Przy zwykłej analizie chemicznej rozpuszcza się zazwyczaj dane ciało kwasami; i potem przez dodanie pewnych substancyj, t. zw. reagencyj, wytrąca się z roztworu te substancye, które z owem reagens łączą się w związek nierozpuszczalny. Jakie reagencye strącać będą ową nieznaną substancyę, naturalnie powiedzieć nie można było; więc próbowano każdym razem przy rozdziale substancyi na dwie części, która część była silniej promieniotwórcza. Otóż ruda uranowa zawiera najrozmaitsze pierwiastki wszelkie, U, Pb, Fe, Hg, Si, Bi, Ba i t. d. Pokazało się przy takiej analizie, że frakcya zawierająca bismut, oraz frakcya zawierająca baryum, były silnie promieniotwórcze, podczas gdy zwykły bismut i baryum z innych rud otrzymany, ani śladu tej właściwości nie wykazuje. Z tego wnioskowali małżonkowie Curie, że ruda uranowa zawiera dwa nowe pierwiastki silnie promieniotwórcze, jeden podobny do bismutu w swych właściwościach chemicznych, który nazwano polonium, a drugi podobny do baru, który nazwano radyum. To odkrycie ogłoszono w roku 1898, drugą część wspólnie z panem Bémont, który był pomocny przy badaniach chemicznych.

Równocześnie pan Demarçay, specyalista na polu spektroskopji stwierdził, że owo baryum, zawierające według zdania Państwa Curie nowy pierwiastek radyum, istotnie przy analizie widmowej wykazuje linję dotychczas nieznaną; potwierdziło to odkrycie Państwa Curie ponad wszelką wątpliwość.

Chodziło teraz o to, żeby większe ilości tych substancyj wyosobnić i bliżej poznać ich właściwości. Na razie rząd austryacki, właściciel kopalni w Joachimsthal, dostarczył 10 centnarów odpadków rudy uranowej, które właśnie owe substancye zawierają, później różne towarzystwa francuskie dalszego materyału dostarczyły. Ale jakie trudności to zadanie przedstawia, to zrozumiałe będzie, gdy powiem, że ilość radu zawarta w 1000 kg rudy wynosi mniej więcej jedną dziesiątą część grama. Podobnie np. każda woda rzeczna, także woda morska, zawiera ślad złota i to jest mniej więcej ta sama proporcya jak w wodzie morskiej. Nikt złota nie wydobywa z wody morskiej, a jednak wyłączenie radu z rudy uranowej jest zadaniem jeszcze niesłychanie trudniejszem, gdyż radyum tak podobny jest chemicznie do baryum, tak stale mu towarzyszy we wszelkich reakcyach, że oddzielenie ich jest procesem nadzwyczajnie mozolnym i trudnym.

Użyto do tego sposobu „krystalizacyi frakcyonowanej". Zauważono mianowicie, że chlorek radowy jest mniej rozpuszczalny we wodzie niż chlorek barowy. Więc jeżeli się odparowuje roztwór mieszaniny tak, że kryształy się osadzają na dnie naczynia, pokazuje się, że te kryształy stosunkowo więcej zawierają radu niż ciecz nad niemi się unosząca. Można zatem te kryształy na nowo rozpuścić we wodzie, na nowo odparowywać, otrzymuje się kryształy o większej jeszcze koncentracyi soli radowej. Powtarzając takie operacye, według pewnego systematycznego planu, setki i tysiące razy, z całą starannością i sumiennością, można dojść wreszcie do minimalnej ilości prawie zupełnie czystej soli radu.

To oczyszczenie radu, a później podobnie też polonu było znów dziełem pani Curie samej. Postawiła sobie mianowicie zadanie: określenie sposobem czysto chemicznym ciężaru atomowego radu, zadanie nadzwyczajnie śmiałe ze względu na trudności oczyszczania, oraz na minimalne ilości materyału.

Natomiast pan Curie, pozostawiając stronę czysto chemiczną tych poszukiwań żonie, zajął się więcej fizycznemi badaniami nad promieniami wysyłanemi przez owe substancye. Nie mogę wchodzić w przedstawienie długiego szeregu badań nadzwyczajnie doniosłych, które wykonał częścią sam, częścią razem z żoną albo także innymi współpracownikami. Podkreślę tylko te badania, które pani Curie wykonała na własną rękę, t. j. przedewszystkiem owo określenie ciężaru atomowego radu, które stanowi jeden z klasycznych przykładów metodycznych badań tego rodzaju, pamiętny w dzisiejszej chemii. Przez dziewięć lat tym problemem się zajmowała i wciąż nowe próby podejmowała z coraz rosnącą precyzyą pracy, aż wreszcie w r. 1907 jako ciężar atomowy radu otrzymała liczbę 226·45.

Znaczenie naukowe tych prac ocenić potrafi tylko chemik. Czasami słyszy się z ust niefachowców, zwłaszcza takich, którzy *a priori* kobiecie odmawiają zdolności myślenia samodzielnego, że to przecież była praca tylko m e c h a n i c z n a, że inspiracyę autorka zawdzięczać musiała swemu małżonkowi. Łatwo to powiedzieć i któż stwierdzi słuszność czy niesłuszność? Choć charakterystyczne jest już to, że Akademia Szwedzka w roku 1902 udzieliła nagrodę Nobla o b u małżonkom Curie wraz z Becquerelem, oraz że pan Curie w roku 1904 odrzucił proponowaną mu przez Rząd francuski *légion d'honneur* z tym motywem, że żona w jego

odkryciach ma równy udział. Ale, pominąwszy kwestyę oryginalności pomysłu, której rozstrzygnięcie jest niemożliwe a roztrząsanie jest nader przykre ze względu na ścisły i nadzwyczaj lojalny stosunek obu małżonków, zaznaczę jedną rzecz: Zupełnie mylnie sobie ludzie niefachowi wyobrażają twórczość naukową jako szereg genialnych pomysłów! A przedewszystkiem stosuje się to do chemii, tam pomysły są tanie; cenne jest ich wykonanie! W żadnej innej nauce chyba ścisłość i precyzya p r a c y nie jest tak ważną jak w chemii.

Wiadomo zresztą, że niestety współpracownictwo małżonków Curie zostało przedwcześnie przerwane zrządzeniem losu brutalnie tragicznym: 19. kwietnia 1906 r. P. Curie został przejechany automobilem; śmierć zaskoczyła tego pierwszorzędnego uczonego w 47ym roku życia.

Zresztą losy osobiste pani Curie są wszystkim znane. Po śmierci męża została powołana jako następczyni jego na katedrę Sorbonny, stworzoną dla jej męża w roku 1904 i od tego czasu stoi na czele laboratoryum instytutu radyologicznego Paryża. W zeszłym roku była kandydatką na członka Akademii Francuskiej („l'Institut"), przy wyborze jednak zwyciężyli zasadniczy przeciwnicy udziału kobiet w tej instytucyi i przeszedł małą większością Branly, swoją drogą także uczony, któremu nie można odmówić pewnych zasług na polu fizyki. Paryż jednak przy tej sposobności okazał się godnym swej sławy jako gniazdo klik, koteryi i intryg, które odezwały się głośnym echem w prasie europejskiej i których senzacyjność tak zupełnie nie zgadza się z tą cichą, poważną i unikającą rozgłosu osobistością, jaką jest pani Curie. Nagrodzoną została swoją drogą udzieleniem powtórnem, tym razem jej osobiście, nagrody Nobla, dokonanem przed kilku miesiącami.

Pośród prac w ostatnich latach wykonanych, jeszcze wypada wymienić przedewszystkiem wytworzenie radu metalicznego z soli radowych przedtem otrzymanych; w jako fakt naukowy stanowiący niejako k o r o n a c y ę działalności Curie-Skłodowskiej nad promieniotwórczością. Odtąd zwróciła swoją czynność przedewszystkiem w kierunku badań nad polonium, co do którego znacznie mniej jeszcze wiemy niż co do radu.

Chcąc scharakteryzować typ umysłowy pani Curie Skłodowskiej według podziału trafnego Ostwalda, sądzę, że jest ona (po-

dobnie jak jej mąż) wybitną przedstawicielką typu „klasycznego". Ścisłe logiczne rozumowanie, praca metodyczna, wytrwała w kierunku jasno wytkniętym, zadowolenie w precyzyjnem wykończeniu badań, ostrożność w formułowaniu hipotez i wniosków, są to cechy nadzwyczajnie charakterystyczne, różniące ją zasadniczo n. p. od współcześnie na tym samym polu pracujących Anglików: J. J. Thomson, Rutherford, Sir William Ramsay, typowych „romantyków". Ta cecha charakteru tłómaczy też, czemu z pewną niechęcią odnosi się do dzisiejszego stanu badań nad promieniotwórczością, gdzie panuje formalny wyścig za sensacyjnemi nowościami, gdzie się publikuje prace jeszcze niedojrzałe, tylko dlatego, żeby się nie dać ubiedz komu innemu w pierwszeństwie.

Doniosłości badań Państwa Curie dla nauki chyba nie potrzeba obszernie objaśniać. Stworzyły one podstawę dla nauki o promieniotwórczości dzisiaj już samodzielnej gałęzi wiedzy, pośredniej między chemją i fizyką, która na jedną i drugą umiejętność całkiem nowe, nieoczekiwane światło rzuciła. Wspomnę tylko n. p., że badania Rutherforda stwierdziły niewątpliwie słuszność teoryi transformacyi atomów, wygłoszoną jako możliwą hipotezę przez panią Curie już w roku 1899; według której atomy pierwiastków promieniotwórczych nie są niezmienne, tylko z biegiem czasu się starzeją i kruszeją, a okruchy odpadające, to są właśnie owe promienie α i β, składające się z cząstek wystrzelonych przez atomy z olbrzymią prędkością.

Tak wiemy też dzisiaj, że n. p. polonium jest potomkiem, produktem transformacyi atomów radu, a rad znów jest zapewne potomkiem uranu. A takich kolejnych stadyów transformacyi, które chemicznie się zachowują jako pierwiastki, krótko mówiąc „pierwiastków promieniotwórczych", znamy dzisiaj już 35.

Punktem wyjścia naszych rozważań była ogólna kwestya uzdolnienia umysłu kobiecego do nauk ścisłych. Starałem się dać obraz sprawiedliwy działalności naukowej owych trzech kobiet uczonych; sądzę, że wystarczy to najzupełniej do zbicia śmiesznego przesądu, jakoby kobiety wogóle do pracy twórczej w zakresie tych nauk nie były zdatne. Zwłaszcza zasług naukowych naszej rodaczki mogliby nawet pierwszorzędni uczeni z pewnością pozazdrościć.

Tem dziwniejszem się wydaje, czemu to są tylko rzadkie wyjątki, czemu do dziś dnia taka olbrzymia panuje dysproporcya

pracy kobiet i mężczyzn na polu twórczości ściśle naukowej, podczas gdy kobiety tak wybitne stanowisko zajmują w twórczości literackiej, poetycznej, artystycznej, a nawet w obrębie samych nauk ścisłych mężczyznom nie ustępują o działalność reproduktywną; w uczeniu się i nauczaniu innych.

Często słyszy się zdanie, że jest to skutek dziedziczności, konsekwencja wiekowego zaniedbania umysłu kobiecego. Zdaje mi się, że takie tłomaczenie nie wytrzymuje krytyki Każdy przyrodnik wie, jak nadzwyczajnie trudno cechy nabyte podczas życia indywidualnego dziedziczą. pokoleń na to potrzeba, żeby wytworzyć stałe skłonności psychiczne! Z pewnością wiele więcej niż obejmuje okres historyczny, odkąd młodzież męska pobiera systematyczną naukę szkolną. Skłonności psychiczne (a przeważnie też fizyczne) nie dziedziczą się w ten sposób, żeby zdolności ojca przechodziły na syna, a zdolności matki na córkę; równym prawdopodobieństwem dzieje się też na odwrót.

Nie sądzę, ażeby istniała wybitna różnica w usposobieniu intelektualnem, ażeby umysł kobiecy mniejsze posiadał zdolności w kierunku nas zajmującym, dwa dysproporcya pochodzi od pewnych przyczyn odmiennej natury; różnicy upodobania, różnicy zajęcia i różnicy charakteru.

Nauki ścisłe dla kobiet z reguły, z bardzo nielicznymi wyjątkami, mniej są pociągające niż nauki humanistyczne, owe nauki, które Herbert Spencer nazwał „ornamentacyjnemi". Kobiety z natury mają pociąg do ornamentacyjności. One też wolą historję, literaturę, filozofję, nawet medycynę i nauki biologiczne, niż matematykę, fizykę, chemję. Tamte ogniskują się około człowieka, około życia, te zajmują się przyrodą martwą i prawidłami abstrakcyjnemi; wydają suche i nudne. Czy te upodobania się z czasem zmienią? Nie przypuszczam.

Pomijając jednak różnicę upodobania, przejdźmy do samej psychologji twórczości naukowej; sądzę, że tu także kobiety są w mniej korzystnem położeniu. Twórczość naukowa wymaga zupełnego oddania się nauce, myśli skupionej w jednym kierunku. Dyletantyzm tu jest wykluczony; uczony jest zawsze do pewnego stopnia dziwakiem, wpatrzonym w swoją

naukę, ignorującym względy i obowiązki życia codziennego. Kobieta zaś jest niewolnicą drobnych, codziennych obowiązków. Jeżeli naukę uprawia, to zazwyczaj nie w zamiarze poświęcenia jej całego życia, tylko po dyletancku, w wolnych chwilach.

W sztuce, a zwłaszcza w literaturze, dyletantyzm nie jest żadną przeszkodą do osiągnięcia pierwszorzędnych wyników. Przypomnę choćby ów niedawno odkryty talent literacki, ową Soeur Marie, szwaczkę w Paryżu, która jako dziecko-sierota owce pasła, a której utwory literackie dzisiaj członkowie Akademii Paryskiej wysławiają. W nauce to niemożliwe, tam trzeba przechodzić długie lata ciężkiego systematycznego studyum, zanim marzyć wolno o pracy samodzielnej, a chcąc dojść do wyników poważniejszych, trzeba swoją duszę zaprzedać nauce całkowicie, trzeba naukę uprawiać zawodowo. Potwierdzają to nawet szczegóły biograficzne owych trzech kobiet, któremi dzisiaj się szczegółowo zajmowaliśmy. Dzisiaj wprawdzie zawody „uczone“ są w znacznej części dla kobiet otwarte i byłby już czas na to, żeby znikły wogóle jakiekolwiek pod tym względem ograniczenia — także czynności domowe z postępem kultury coraz mniej będą absorbowały sił kobiecych — jednak chyba zawsze znaczna część kobiet będzie zajęta tym zawodem, jak powiada J. St. Mill, „w którym żaden mężczyzna jej konkurencyi robić nie potrafi“.

Wreszcie, jeżeli chodzi o owe kobiety, które mają upodobanie do nauki i które jej całkowicie się poświęcają, to przecież nie podlega chyba wątpliwości, że mężczyzni zazwyczaj [illegible] odznaczają większą inicyatywą i samodzielnością. Sądzę, że jest to raczej właściwością charakteru niż umysłu; ale jednakże właściwość ta istnieje i odgrywa rolę nadzwyczajnie ważną w samodzielnej twórczości naukowej. Składają się na nią różne cechy [illegible]: pewna awanturniczość, odwaga w wypowiadaniu [illegible] zdania, upór i zaufanie do siebie samego, pewne zacietrzewienie w swych przedsięwzięciach — wogóle [illegible] cechy charakteru, które obserwujemy u chłopców bijących się na ulicy. One były źródłem powodzenia Kolumba i one też dają natchnienie uczonym badaczom do odkrycia nowych dróg badania naukowego; one są źródłem tego, co nazywamy genialnością.

Spodziewajmy się jednak, że kobiety tych rysów charakteru sobie nie przyswoją! Wogóle nie wydaje się to prawdopodobnem, żeby [illegible] na polu twórczości naukowej mogła zapanować

równość zupełna, taka jak na wielu innych polach, choć dysproporcya obecna niewątpliwie z czasem zmaleje. Wszak i kobiety się odznaczają pewnemi zaletami specyalnemi, jak drobiazgową sumiennością i mrówczą pilnością pracy, które powinny im dawać wybitne uzdolnienie w kierunku takich działów jak n. p. chemia, gdzie chodzi o systematyczne, mozolne poszukiwania doświadczalne.

Sądzę, że na jedną rzecz się wszyscy zgodzimy: że kobietom, które wstępują na drogę naukową, — zbyt dużo ich nigdy nie będzie, — powinno się ułatwiać ich powołanie; że powinny nareszcie raz zniknąć wszelkie zewnętrzne przeszkody, owe śmieszne przesądy, owe przestarzałe poglądy, które kobietom zamykają dostęp do niektórych instytucyj naukowych, które im utrudniają kształcenie się, pracę naukową, dostęp do katedr uniwersyteckich.

Niech tu jak na każdem innem polu panuje zasada **wolnej konkurencyi**. Oby ta konkurencya była **jak najżywsza**!

XV. Organizacja i działalność zakładów fizycznych

154

Nauka Polska; jej potrzeby, organizacja i rozwój. Rocznik Kasy Pomocy dla Osób pracujących na polu naukowem, im. Dra Józefa Mianowskiego. Tom pierwszy, Warszawa 1918; str. 19 – 25 1)

t. III s. 231 - 236

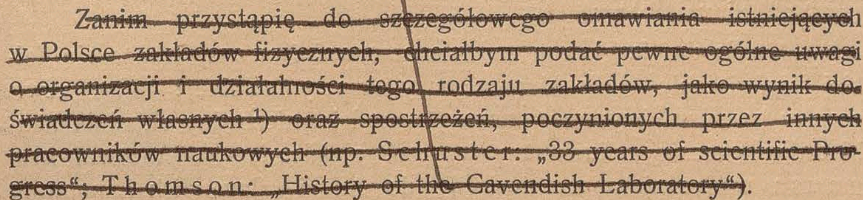
[83]

~~O POTRZEBACH NAUKOWYCH W ZAKRESIE FIZYKI.~~

~~POLSKIE ZAKŁADY FIZYCZNE.~~



~~UWAGI OGÓLNE.~~



~~Zanim przystąpię do szczegółowego omawiania istniejących w Polsce zakładów fizycznych, chciałbym podać pewne ogólne uwagi o organizacji i działalności tego rodzaju zakładów, jako wynik doświadczeń własnych [1]) oraz spostrzeżeń, poczynionych przez innych pracowników naukowych (np. Schuster: „33 years of scientific Progress"; Thomson: „History of the Cavendish Laboratory").~~

Analizując działalność zakładów fizycznych, złączonych z wyższemi instytucjami szkolnemi lub naukowemi, dochodzimy do wniosku, że mogą one spełniać na ogół cztery różne funkcje:

A. Służą do przygotowywania i wykonywania doświadczeń „pokazowych" przy wykładach t. zw. „fizyki doświadczalnej." Do tego celu potrzeba odpowiedniego urządzenia sali wykładowej oraz pokaźnego zbioru przyrządów „demonstracyjnych," t. j. takich, które dane zjawisko fizyczne jak najlepiej uprzystępniają obserwacji słuchaczów, nie nadają się jednak na ogół do wykonywania pomiarów ilościowych.

N° 15

~~1) Poznałem gruntownie, pracując w nich przez dłuższy okres czasu, siedem zakładów fizycznych (dwa w Polsce, dwa w Anglji, po jednym w Austrji, Niemczech, Francji); prócz tego znam kilkanaście zakładów innych, na podstawie obserwacji przy wielokrotnym ich zwiedzaniu.~~

---

1) [Wyjątek z artykułu „O potrzebach naukowych w zakresie fizyki", opracowanego przez Smoluchowskiego w tomie I Nauki Polskiej; przyp. wyd.]

Niektórzy prelegenci (np. prof. Lehmann w Karlsruhe, Lecher w Wiedniu), wykładając fizykę doświadczalną, usiłują wywołać wrażenie produkcji teatralnej rozmiarami przyrządów, wspaniałością efektów świetlnych, długością i hukiem iskier elektrycznych i t. p. i w okazałości tych doświadczeń szukają sławy, gdy tymczasem inni (do tej liczby należał prof. A. Witkowski) są zdania, że więcej pouczające są doświadczenia proste a przejrzyste, i pewną ambicję pokładają w tem właśnie, żeby sobie radzić środkami najpierwotniejszemi. W każdym razie wymagania co do okazałości doświadczeń pokazowych na ogół bardzo wzrosły w ostatnich dziesiątkach lat i przyznać trzeba, że względy rzeczowe zmuszają do stosowania potężniejszych i efektowniejszych środków pokazowych w dzisiejszych wielkich audytorjach uniwersyteckich, choćby się było zwolennikiem prostych metod przy nauczaniu indywidualnem. Odpowiednio obfitsze wyposażenie nowoczesnego „gabinetu fizycznego" wymaga oczywiście pokaźnych zasobów materjalnych.

B. Za drugie główne zadanie pracowni fizycznej uważa się dzisiaj wćwiczenie studentów w pracy eksperymentalnej: kursy „ćwiczeń w pracowni fizycznej" tworzą wszędzie niezbędny składnik nauki uniwersyteckiej. Ruch ten wyszedł z Niemiec (z pracowni Magnusa w Berlinie), przeniósł się do Anglji (Cavendish Laboratory w Cambridge), gdzie ogarnął w wyższej jeszcze mierze szkoły średnie i, tak wzmocniony, naodwrót wywołał odpowiednie reformy w szkolnictwie średnim na kontynencie. Ćwiczenia uniwersyteckie polegają przeważnie na wykonywaniu pomiarów ilościowych, o średnim stopniu precyzji, w zakresie różnych działów fizyki, wymagają zatem specjalnego wyposażenia w proste, solidne przyrządy miernicze. Prowadzenie tych ćwiczeń pochłania stosunkowo dużo czasu i pracy pomocniczego personelu zakładu (kierownika, asystentów, demonstratorów), ze względu na konieczność indywidualnego nadzoru i osobistego nauczania studentów, koszta zaś zależą głównie od liczby biorących udział w ćwiczeniach.

Do tego samego rodzaju należą zaprowadzane obecnie częściej na różnych uniwersytetach ćwiczenia warsztatowe i ćwiczenia „pokazowe" dla przyszłych nauczycieli.

Gdy wspomniane dwa rodzaje czynności noszą cechę wyłącznie dydaktyczną, następny punkt programu, stanowiący najwyższy szczebel nauczania uniwersyteckiego, tworzy przejście do czwartej grupy, którą w dalszym ciągu omówimy, t. j. do właściwej działalności naukowej zakładów fizycznych. Jest to:

C. Przyuczanie do samodzielnej pracy naukowej (na polu fizyki doświadczalnej) zdolniejszych pracowników, którzy zdobyli odpowiednie wykształcenie teoretyczne i przerobili całkowity kurs ćwiczeń praktycznych, a pragną wyższego wykształcenia naukowego.

Na uniwersytetach niemieckich, które na ogół żywą w tym kierunku rozwijają czynność, nazywa się to: wypracowaniem dysertacji doktorskiej. Inicjatywa w tym kierunku wychodzi zwykle od młodego pracownika, który, wiedziony emulacją i szlachetną ambicją naukową, pragnie zdobyć stopień doktorski i zwraca się do profesora z prośbą o podanie tematu pracy. Idzie o to, żeby wynaleźć temat nieopracowany jeszcze, o którym powiedzieć można z pewnością, że opracowanie jego będzie stosunkowo łatwe, dostępne naukowym i technicznym zdolnościom pracownika, nie będzie wymagało ani zbyt dużego nakładu pracy i czasu, ani kosztownych specjalnych przyrządów, a przecież będzie pouczającem, i przedewszystkiem, że pozwoli osiągnąć wyniki nowe, niepozbawione wartości naukowej.

Zazwyczaj do każdej takiej pracy potrzeba sprowadzenia jakichś przyborów nowych, materjałów chemicznych i t. p., często trzeba konstruować specjalne nowe instrumenty, tak, że koszty jednego „doktoranta" bywają znacznie większe, niż dziesięciu „praktykantów." Prace te pochłaniają też w wiele wyższym stopniu czas i siły kierownika pracowni, gdyż prawie każde takie badanie na terenie nowym nastręcza rozmaite trudności nieprzewidziane, i wówczas pracownicy ze zdziwieniem spostrzegają, jak wielki jest krok od „ćwiczeń" do najskromniejszej choćby, samodzielnej pracy naukowej. Ciągła kontrola tych prac doktorskich jest niemal głównym zajęciem kierowników pewnych większych zakładów uniwersyteckich, zwłaszcza, że w tym oni nie mogą jak w „practicum" wyręczać się pomocą asystentów.

Zresztą nie odnosi się to bynajmniej do wszystkich zakładów fizycznych. W przeciwstawieniu bowiem do wymienionych poprzednio czynności dydaktycznych, które odbywają się według ustalo-

nych reguł, z używaniem licznych podręczników pomocniczych, przyuczanie młodych sił do pracy naukowej zależy tak dalece od psychicznej indywidualności kierownika zakładu (a także od życiowych stosunków uczniów), że niektóre zakłady odznaczają się jak największą wydajnością, inne zaś zupełnie są jałowe. Panuje pod tym względem największa rozmaitość i niepodobna podać jakichś reguł ogólnych.

To rzecz pewna, że nie potrafi zachęcić do samodzielnej pracy, nie umie wyszukać tematu odpowiedniego, nie potrafi przyuczyć do pokonywania nasuwających się zawsze trudności ten, kto sam nie pracował w sposób twórczy na polu naukowym, lub kto zatracił żywą styczność z postępem nauki.

Tłumaczy to bezczynność wielu zakładów w kierunku wymienionym. Oprócz tego zauważyć trzeba z drugiej strony, że nie każdy, choćby najwybitniejszy, pracownik naukowy umie i chce działać w tym kierunku, „tworząc szkołę" młodych adeptów nauki. Można wymienić cały szereg najwybitniejszych uczonych (np. lord Kelvin, lord Rayleigh, Stefan, Boltzmann, Lippmann, poczęści także Röntgen, Wien), którzy żadnych ze swych uczniów nie wykształcili na pracowników naukowych, albo którzy rozwijali nader słabą w tym kierunku działalność. Z drugiej znów strony, przytoczyć można profesorów, których główna zasługa polega właśnie na kształceniu takich młodych pracowników naukowych i którzy zasłynęli, jako inspiratorowie dysertacji doktorskich (np. Warburg w Berlinie, Heydweiller w Rostocku, Exner w Wiedniu, Lummer we Wrocławiu, Dorn w Halli i t. p.

D. Dowodzi to wszystko, że ta dydaktyka naukowa wyższego poziomu tworzy specjalną gałąź czynności zakładów fizycznych, w której celują niektórzy kierownicy, że natomiast właściwa praca naukowa badawcza — do której obecnie przechodzimy — jest czemś zupełnie odrębnem; często nawet występuje pewna jej sprzeczność z owemi zadaniami dydaktycznemi (A, B, C), gdyż personel zakładu może się jej oddawać tylko w chwilach wolnych od owych zajęć oraz od czynności administracyjnych.

Rozumie się, że wyłącznie te badania naukowe stanowią o charakterze danego zakładu, jako instytucji naukowej, gdy tymczasem

wszystkie czynności, przedtem omawiane, należą do zakresu niższej lub wyższej dydaktyki uniwersyteckiej. [illegible] owe badania, które decydują o postępie wiedzy, które charakteryzują rolę, odegraną przez dany naród w historji nauki.

Badania tego rodzaju wymagają oczywiście na ogół bez porównania większych zasobów materjalnych i większego nakładu środków, niż prace typu (C); gdzie kierownik musi wytężyć wszelkie siły, użyć wszelkich sposobów techniki eksperymentalnej, aby badaniami swemi rozwiązać dane zagadnienie, gdy w pracach rodzaju (C) wystarczy osiągnięcie jakichkolwiek wyników nowych i naukowo interesujących. Kosztowność ich wzrasta jeszcze niepomiernie, jeżeli nie są one scentralizowane w kierunku pewnego zagadnienia, gdyż wymagają wówczas różnorodnych urządzeń i przyrządów.

Wzgląd ten, jak również psychiczne właściwości uczonych, skłaniających się w dzisiejszych czasach ku coraz ściślejszej specjalizacji, są też powodem, że każda pracownia naukowa poświęcona jest zazwyczaj badaniom w jednej albo wyjątkowo w kilku wyraźnie ograniczonych gałęziach zagadnień naukowych [1].

Tak np. słynna pracownia frygoryficzna Kamerlingh Onnesa w Leydzie posiada jedyny w swoim rodzaju warsztat do badań w zakresie nizkich temperatur. Pracownie radjologiczne Rutherforda w Manchestrze, pani Skłodowskiej-Curie w Paryżu, Zakład radjologiczny w Wiedniu zajmują się niemal wyłącznie badaniami w zakresie radjologji. Pracownie Paschena w Tybindze, Kaysera w Bonn uprawiają spektroskopję, pracownia profesora Du Bois w Berlinie (Boscha Laboratorium) jest instytucją, poświęconą wyłącznie badaniom magnetycznym i t. d.

Zależy to zresztą od rodzaju badań, od zmysłu organizatorskiego kierownika oraz od różnych okoliczności natury praktycznej, czy kierownik podejmuje swoje poszukiwania sam, czy też prowadzi je z więcej lub mniej licznym udziałem asystentów, albo samodzielnych

[1] Zakłady zaś typu (C) uprawiają zwykle dziedziny bardzo różnorodne, co w celach dydaktycznych jest niewątpliwie korzystniejsze, gdyż pracownikom daje możność zapoznawania się z metodami naukowemi, stosowanemi na różnych polach nauki.

współpracowników, nadając całemu badaniu jednolity kierunek, czy wreszcie czynność zakładu rozpada się na oddzielne, niepowiązane między sobą badania pojedyńczych pracowników. Tak np. Rubens w Berlinie, Röntgen w Monachjum, wykonywają swe badania sami, albo czasem przy współudziale drugiego, młodszego badacza. Inni, jak J. J. Thomson, Rutherford, Kamerlingh Onnes, jednoczą większą liczbę samodzielnych, ale różnemi drogami postępujących pracowników w badaniach większego działu.

Organizacja taka przypomina często kierowanie pracami doktorskiemi (punkt C); ale różnica charakterystyczna polega na tem, że celem tu nie jest przyuczanie danych osobników do pracy samodzielnej, lecz zbadanie danego zagadnienia abstrakcyjnego, przy pomocy sił zupełnie wyszkolonych; a zatym dane badania organizują się wyłącznie z punktu widzenia korzyści naukowej.

Istnieją oczywiście także stadja pośrednie między czynnościami rodzaju (C) i (D). W pewnych badaniach, zwłaszcza takich, które wymagają raczej dużego nakładu pracy i czasu, niż wielkiego doświadczenia eksperymentalnego i samodzielnej zaradności, zręczny organizator potrafi skorzystać z pomocy początkujących pracowników (stadjum C), kierując ich pracą w celu zgłębienia tego problematu, którym sam się zajmuje, ograniczając nawet do skromnych rozmiarów swój udział bezpośredni [1].

Jest to „warsztatowo-fabryczna" metoda podziału pracy, stosowana zwykle w badaniach chemicznych; w zakresie fizyki natomiast rzadziej zdarza się sposobność ku jej używaniu, gdyż tu wiele wybitniej występują indywidualne cechy każdego badania. Dlatego w tej dziedzinie tak często odczuwać się daje sprzeczność między naukową a dydaktyczną czynnością kierownika.

Kierownikowi zakładu, oddającemu się gorliwie pracy dydaktycznej, kierującemu pracami kilkunastu „doktorantów," nie starczy ani czasu wolnego, ani sił, aby mógł poświęcać się głównemu zadaniu,

---

[1]) Np. prace Heydweillera (w Rostocku) nad elektrolitami, prace w zakładzie Dorna (Halla) nad lepkością i przewodnictwem cieplnem różnych gazów, prace w zakładzie Lenarda nad elektrycznością wodospadów, badania współpracowników Perrina w Paryżu nad ruchami Browna i pokrewnemi zjawiskami i t. p.

ku któremu przez swe zdolności jest powołany, własnej pracy naukowej. Jeżeli zaś ostatnią uważa za swój pierwszy obowiązek, zmuszony jest zaniedbywać ~~zupełnie~~ stronę dydaktyczną.

Dlatego tak ważne dla postępu nauki jest tworzenie zakładów niezwiązanych z żadnemi szkołami wyższemi, poświęconych wyłącznie badaniom, ~~(„Forschungsinstitut“)~~ bez ubocznych celów dydaktycznych. Zakłady takie oddawna istnieją w zakresie astronomji, meteorologji, geofizyki, w fizyce zaś są one stosunkowo nowością. Wybitną inicjatywę w kierunku tych dążności dało stworzenie „Kaiser Wilhelm Forschungs-Institut" w Dahlem pod Berlinem, który urzeczywistniać ma właśnie program powyżej nakreślony, dotychczas jednak programem tym obejmuje tylko pewne dziedziny (chemję fizyczną) z pomiędzy tych, które wchodzą w zakres fizyki ogólnej. W innych dziedzinach analogiczną działalność rozwijają ~~jednak~~ już od szeregu lat oddziały naukowe państwowych instytucji ~~w rodzaju~~: Physikalisch-Technische Reichsanstalt w Berlinie, Bureau des Poids et Mesures w Paryżu, National Physical Laboratory w Teddington pod Londynem i Bureau of Standards w Waszyngtonie. Odegrały one już wybitną rolę w nauce; niewątpliwie stałyby jeszcze bez porównania wyżej, gdyby przy zakładaniu ich pamiętano o niezaprzeczonej prawdzie, że działalność takiej instytucji zależy przedewszystkiem od zdolności pracowników, w drugim rzędzie dopiero od urządzenia pracowni; czyli że: naukę tworzy człowiek, nie zaś zakład.

tylko dotąd

DZIAŁALNOŚĆ POLSKICH ZAKŁADÓW FIZYCZNYCH.

Przejdźmy do roztrząsania dotychczasowej działalności polskich zakładów fizycznych, mając wciąż na uwadze wymienione cztery gałęzie czynności — które dla skrócenia oznaczać będziemy literami A, B, C, D — postępując w tym według kolei rozwoju naszych ognisk twórczości naukowej.

KRAKÓW.

1) Zakład fizyczny Uniwersytetu Jagiellońskiego jest do dziś dnia z pewnością najważniejszą naszą instytucją na tym

polu. Pochodząc w swych początkach z czasów reformy Kołłątajowskiej, od roku 1813 pomieszczony w części obszernego „Collegium physicum“ (ul. Św. Anny 6), stał za czasów profesorów R. Markiewicza (1813—1838) i St. Kuczyńskiego (1839—1882) na poziomie „gabinetu fizycznego,“ gdyż służył tylko za zbiór przyrządów do doświadczeń pokazowych (A).

Dopiero Z. Wróblewski, gienjalny uczony i sprężysty organizator, wyszkolony w zakładach zagranicznych, zrozumiał, jakie zadania spełniać powinien nowoczesny zakład naukowy, i przekształcił ów gabinet w czynną pracownię naukową (D), któraby była niewątpliwie wysunęła się na bardzo wybitne miejsce wśród zakładów europejskich, gdyby działalność tego świetnego uczonego i energicznego organizatora nie skończyła się tak rychło (katastrofa laboratoryjna w r. 1886).

Kierunek, który Wróblewski jej wówczas nadał słynnemi swemi badaniami nad skraplaniem gazów (rozpoczętemi pierwotnie wspólnie z Olszewskim w Zakładzie chemicznym), zachował swój wpływ przez następny trzydziestoletni okres, mimo że działalność Wróblewskiego była tak krótka: następca jego A. Witkowski, ze względu na świetną tradycję oraz na dane zasoby materjalne, wszedł w ślady swego poprzednika i oddał się również pracy naukowej w dziedzinie termodynamicznych własności gazów.

Witkowski, umysł również bardzo wybitny, ale o typie odmiennym [„klasycznym“ według Ostwalda], skłonnym raczej do cierpliwego wypracowywania specjalnego tematu, niż do szybkiego ogarniania rozległych dziedzin, wsławił siebie i Zakład swój klasycznemi swemi badaniami nad ściśliwością powietrza i wodoru oraz nad prędkością głosu i nad ciepłem właściwym powietrza. Jakkolwiek świetnym był nauczycielem, mało dbał o okazałość pokazów doświadczalnych (A), jak i osobiście odznaczał się prostotą cichego życia i skromnością wymagań. Ćwiczenia laboratoryjne (B) rozwinął natomiast w sposób zupełnie odpowiedni i umiał też kierować pracami doktorskiemi (C) młodych pracowników, jak tego dowodzi szereg stąd pochodzących rozpraw z różnych dziedzin fizyki, ogłaszanych w wydawnictwach Akademji Krakowskiej. Że liczba prac, które wyszły w ciągu tego prawie trzydziestoletniego okresu, mimo wysokiego naukowego poziomu kierownika Zakładu, nie jest jeszcze większa, pocho-

161

dzi to zapewne w znacznej mierze z ubóstwa materjalnego dawnego Zakładu, braku miejsca i prymitywności urządzeń — wszak nie było tam nawet wodociągu, a gdy studnia w dziedzińcu się zawaliła, trzeba było wodę z pewnej odległości przynosić konewkami!

Wreszcie stosunki te nie dały się dłużej utrzymać. Według planów prof. Witkowskiego wybudowano nowy Zakład fizyczny, budynek z zewnątrz okazały i także wewnątrz odpowiednio pomyślany; wyznać trzeba jednak, że urządzenie wewnętrzne — poczęści wskutek zbytniej skromności pierwotnych kosztorysów oraz szczupłości rządowego uposażenia, poczęści zaś wskutek choroby prof. Witkowskiego, uniemożliwiającej mu osobistą kontrolę — pozostało daleko w tyle po za tym, czego wymagać trzeba od nowoczesnego zakładu naukowego. Wystarczy podanie dwuch liczb dla scharakteryzowania rażącej dysproporcji między budynkiem a naukowym warsztatem w nim pomieszczonym: koszty budynku i instalacji wyniosły około 700,000 k.; jednorazowa dotacja na wyposażenie Zakładu w nowe przyrządy naukowe: 12,500 k. (płatne w pięciu rocznych ratach!).

Gdy po śmierci prof. Witkowskiego w roku 1913 prof. M. Smoluchowski objął Zakład fizyczny, rozpoczął przedewszystkim starania o zdobycie dalszych nadzwyczajnych dotacji naukowych oraz o wykończenie różnych szczegółów urządzenia wewnętrznego, niestety, z niewielkim powodzeniem, gdyż wojna przerwała wszystko, zamieniając cały Zakład w szpital wojskowy. Wojna przerwała też prace naukowe w kierunku różnych zagadnień fizyki doświadczalnej, rozpoczęte przez personel Zakładu (dyrektor, dwuch asystentów, dwuch demonstratorów) oraz młodych początkujących pracowników — których liczba podczas roku 1913/14 wzrosła do 10 — i powstrzymała tak na szereg lat owocny rozwój nowego Zakładu. Dzisiaj tylko kierownik i kilku starszych pracowników jest czynnych i to wśród warunków nader uciążliwych, w ciasnych nieodpowiednich lokalach, do których przeniesiono prowizorycznie część Zakładu.

W przyszłości, gdy po usunięciu szpitala wojskowego, Zakład zostanie przywrócony swemu celowi, okaże się potrzeba znacznych inwestycji na naprawę szkód, wyrządzonych przez wojsko, na uzupełnienie wewnętrznego urządzenia, a zwłaszcza na uzupełnienia w dziale przyrządów o charakterze pokazowym i dydaktycznym, które

są niezbędne ze względu na konieczność reformy i rozszerzenia dotychczasowego programu dydaktycznego (działy A, B). Wobec tego obawiać się trzeba upośledzenia działalności czysto naukowej (D) oraz naukowo-dydaktycznej (C) Zakładu, z powodu braku środków materjalnych, o ile nie znajdą się obfitsze źródła po za dotacją rządową.

Kierunek naukowych badań Zakładu zmienił się w ostatnich latach. Badania nad skraplaniem gazów, nie będące zresztą już dzisiaj tak aktualne, jak przed laty 30, oraz badania nad termodynamicznemi właściwościami gazów, tworzą obecnie specjalność słynnego frygoryficznego laboratorjum Kamerlingh Onnesa w Leydzie, a oprócz niego i inne zakłady tak dalece wyprzedziły naszą pracownię odpowiednim wyposażeniem materjalnym i urządzeniami dla badań w zakresie nizkich temperatur, że współzawodnictwo na tym polu, wymagającym znacznych zasobów, stało się dla nas niemożliwe. To też już Witkowski rozpoczął przygotowania do badań w innym kierunku (absorbcji promieniowania w atmosferze), które, jeżeli dalej będą prowadzone, również będą wymagały jeszcze znacznego nakładu środków, w zamian mogą jednak dostarczać pożądanego tematu pracy na szereg lat.

Kierunek badań, któremu prof. Smoluchowski głównie się oddaje, dotyczy aktualnego dzisiaj w nauce tematu: zjawisk drobinowych w rodzaju ruchów Browna, fluktuacji drobinowych, opalescencji gazów i t. p. Temat ten obejmuje z jednej strony także owe badania zamierzone przez Witkowskiego — i na tym polu prof. Smoluchowski otrzymał już bardzo obiecujące wyniki własną, prostą metodą eksperymentalną — z drugiej strony łączy się ściśle z modną i szybko dzisiaj rozwijającą się fizyką i chemją koloidów [1]). W ostatniej dziedzinie Zakład zyskał pracownika-specjalistę w osobie d-ra A. Gałeckiego, który i w czasie wojny dalej prowadzi swoje badania, zachęcając do nich także siły młodsze.

Niezależnie od tego głównego kierunku prowadzono w ostatnich latach badania optyczne (prof. d-r Konstanty Zakrzewski, d-r St. Loria, Fabiani, d-r J. Patkowski), a oprócz tego opracowywano rozmaite tematy, mające służyć do dysertacji doktor-

---

[1]) Np. teorja koagulacji koloidów, rozwinięta przez prof. Smoluchowskiego.

162

skich; tymczasem dwaj asystenci (d-r Loria, d-r Patkowski) wykształcili się specjalnie w kierunku radjologji i pierwszy z nich obecnie zajmuje się też badaniami pokrewnemi; demonstrator zaś d-r W. Staszewski opracowuje temat z zakresu mało jeszcze znanych zjawisk endosmozy elektrycznej.

LWÓW.

2) Zakład fizyczny Uniwersytetu lwowskiego pozostaje pod kierownictwem prof. Ignacego Zakrzewskiego, który stworzył go przed dwudziestu kilku laty z użyciem dawnych zbiorów gabinetu katedry fizyki, w osobno ku temu celowi wystawionym budynku przy ulicy Długosza 8.

Dotychczasowa działalność Zakładu uwzględnia przedewszystkim zadania dydaktyczne (A, B), i pod tym względem zarówno urządzenie, jak i prowadzenie zakładu jest wzorowe. Natomiast czynność jego na polu badań naukowych była dotychczas dosyć skromna: wykonane zostały od czasu założenia cztery prace doświadczalne przez ówczesnego profesora fizyki teoretycznej M. Smoluchowskiego [1]) oraz trzy prace przez docenta fizyki d-ra J. Stocka [2]). Po przejściu prof. Smoluchowskiego do Krakowa, na jego miejsce wszedł prof. Konstanty Zakrzewski, który poprzednio w Krakowie zajmował się badaniami z zakresu optyki metali. Zresztą oprócz kierownika prof. J. Zakrzewskiego pozostają pracownicy: d-r J. Stock (chwilowo w niewoli rosyjskiej) i asystent d-r R. Negrusz, zajęty pracą z zakresu fizyki wysokich ciśnień. Stwierdzić trzeba w każdym razie, że urządzenia Zakładu nadają się doskonale do pracy naukowej, a także środki materjalne starczyłyby dla znaczniejszej liczby pracowników naukowych.

3. Zakład fizyczny Politechniki lwowskiej dzieli się na:

a) Pracownię fizyczną prof. Kazimierza Olearskiego,

---

[1]) Tematy prac: tworzenie się strug przy wypływie cieczy, fałdowanie się płyt sprężystych, badania przewodnictwa cieplnego proszków.

[2]) Z zakresu endosmozy elektrycznej.

służącą wyłącznie do celów pokazowo-dydaktycznych przy wykładach dla studentów inżynierji i architektury oraz

b) Pracownię fizyczną prof. Tadeusza Godlewskiego, która posiada zbiór przyrządów (muzeum), wspólny z poprzednią, ale pobiera osobną dotację i spełnia osobne zadania dydaktyczne przy wykładach dla słuchaczy budowy maszyn i chemji oraz przy ćwiczeniach fizycznych, które dla tej kategorji słuchaczy zostały wprowadzone.

Zwracamy uwagę na działalność Zakładu prof. Godlewskiego, gdyż jest to jedna z niewielu naszych pracowni, naukowo czynnych. Sam kierownik, wybitny specjalista na polu badań promieniotwórczości, urządził sobie swoją pracownię stosownie do tego kierunku badań i zdołał tam już w ostatnich latach wykonać szereg cennych prac z zakresu radjologji, choć pracownia posiada uposażenie nader skromne w porównaniu z zakładami radjologicznemi w Warszawie, Wiedniu i t. p. Prowadzi on nadal swoje badania, a mógłby to czynić z większym jeszcze skutkiem, gdyby miał do dyspozycji obfitsze środki, gdyż obecnie zwłaszcza brak preparatów promieniotwórczych i t. p. stanowi w nich często wielką przeszkodę.

WARSZAWA. [1])

4. Zakład fizyczny w Politechnice Warszawskiej, urządzony niegdyś przez prof. W. Biernackiego w sposób bardzo wykwintny, a służący w ostatnich czasach celom politechniki i uniwersytetu, jest z pewnością największym i najobficiej wyposażonym zakładem fizycznym na ziemiach polskich. Dzięki swym urządzeniom mógłby on tworzyć poważne ognisko pracy naukowej, brak odpowiedniej tradycji oraz stosunki lokalne są jednak powodem, że działalność jego rozwija się tylko w kierunku dydaktycznym. Personel Zakładu jest olbrzymi: oprócz kierowników, prof. Józefa Kowalskiego (który poprzednio we Fryburgu zajmował się badaniami z zakresu rozbrojeń elektryczności oraz zjawisk fosforescencji) i prof. M. Grotowskiego, jest podobno przeszło 10 asystentów, ale wszystkich zajmuje wyłącznie

---

[1]) Winienem zaznaczyć, że nie miałem sposobności poznać osobiście stosunków w zakładach fizycznych warszawskich, więc zdanie moje o nich z mniejszą wygłaszam pewnością.

KILKA UWAG O ANALOGIACH FIZYCZNYCH, ZWŁASZCZA W TEORYACH PRĄDÓW ELEKTRYCZNYCH, CIEPLNYCH I DYFUZYI.

NAPISAŁ

MARYAN SMOLUCHOWSKI.

WARSZAWA
WYDAWNICTWO REDAKCYI
WIADOMOŚCI MATEMATYCZNYCH.

1918.

Osobne odbicie z tomu XXII-go

„WIADOMOŚCI MATEMATYCZNYCH".

Drukarnia Rubieszewskiego i Wrotnowskiego w Warszawie.

MARYAN SMOLUCHOWSKI †

Kilka uwag o analogjach fizycznych, zwłaszcza w teorjach prądów elektrycznych, cieplnych i dyfuzji.[1]

Analogja stanowi charakterystyczną cechę powyższych teoryj, którą one już od samego swego przyjścia na świat od twórców swych otrzymały.

Najstarsza jest teorya przewodzenia ciepła, ogłoszona przez Fouriera w 1822 roku, w jego sławnem dziele „Théorie analytique de la chaleur", a po części już poprzednio w pojedyńczych rozprawach; ona bezwątpienia podała Ohmowi (1827) myśl przyjęcia podobnych założeń dla prądu elektrycznego, a już otwarcie służyła Fickowi (1855) przy wypracowaniu teoryi dyfuzyi.

Analogja ta, która polega na wspólnem, zasadniczem założeniu, że prąd elektryczny lub ciepła, lub prąd materyi przenikającej przez inną materyę, jest proporcyonalny do spadu potencyału lub temperatury lub koncentracyi, uwydatnia się zwłaszcza w obliczeniach, tyczących się stanu trwałego, które podlegają wspólnemu równaniu:

$$\Delta^2 U = 0.$$

Równanie to napotykamy, coprawda, także często w innych dziedzinach fizyki; służy ono n. p. do określenia potencyału pręd-

---

[1] Artykuł, napisany dla „Wiadomości matematycznych" przez nieodżałowanego Uczonego i nadesłany nam łaskawie przez Panią Profesorową Smoluchowską. (Przyp. Redakcyi).

kości ruchów niewirowych cieczy idealnej, potencjału elektrostatycznego lub magnetycznego w polu statycznem i t. p.

Istotnie formalna ta analogia często okazuje się pożyteczną, nasuwając rozwiązania z jednej dziedziny, przydatne dla innej.

Analogie, występujące tak często w różnych dziedzinach fizyki teoretycznej, tworzą wdzięczny i też dość często zużytkowywany temat do badania. Dla badacza śledzenie ich jest znakomitym środkiem pogłębienia logicznego odpowiednich pojęć i wykończenia teorii zapomocą dostosowania wywodów, zapożyczonych z innych dziedzin fizyki; i oprócz tego jest ona też nieocenioną pomocą przy dydaktycznem traktowaniu przedmiotu.

Z tego względu chciałbym wypowiedzieć tu kilka uwag, które choć nie zawierają nowych rezultatów, przecież może przydać się mogą do objaśnienia niektórych kwestyj, nasuwających się przy głębszem wniknięciu w przedmiot; przytem chodzi mi szczególnie o rozważenie dwóch punktów: logicznej i praktycznej doniosłości takich analogij.

I.

Klasycznym, już wyżej wspomnianym przykładem jest analogia zjawisk, polegających na równaniu potencjalnem

$$\Delta^2 U = 0,$$

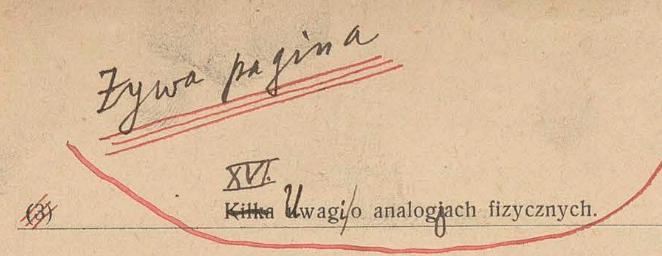
odgrywającem ważną rolę we wszystkich niemal częściach fizyki. Tak np. wzór

$$U = cx\left(1 + \frac{a^3}{2r^3}\right),$$

zadość czyniący powyższemu równaniu, i pochodny niego:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = c\left(1 + \frac{a^3}{2r^3} - \frac{3x^2a^3}{2r^5}\right)$$

wyrażają rozkład potencjału U w otoczeniu kuli o promieniu a, która znajduje się w polu $U = cx$ poprzednio równomiernem (jednostajnem); można to równanie interpretować na rozmaite sposoby. Przedstawia ono rozkład potencjału i linij prądu elektrycznego w otoczeniu kuli wcale nieprzewodzącej, zanurzonej do nieskoń-



czenie rozległego przewodnika, jeżeli stała c oznacza stosunek prądu do przewodnictwa nieskończonego przewodnika.

Uważając U za temperaturę ciała, otrzymujemy odpowiedni przypadek z teoryi przewodzenia ciepła; podstawiając na miejsce U koncentracyę roztworu, otrzymujemy rozkład koncentracyi, spowodowany przez dyfuzyę w otoczeniu obcego ciała postaci kulistej. Te same równania przedstawiają także potencyał prędkości oraz kierunek i prędkość prądów cieczy w otoczeniu kuli zanurzonej do cieczy idealnej, niewirującej.

Podobny paralelizm między temi dziedzinami istnieje przy każdem zadaniu tego rodzaju. Z takich analogij skorzystał np. Berget (1888), przenosząc zasadę W. Thomsona obręczy ochronnej (w jego „guard-ring electrometer") z elektrostatyki do teoryi przewodzenia ciepła, co mu umożliwiło oznaczenie przewodnictwa cieplnego rtęci i kilku innych metali zapomocą metody interesującej i bardzo dokładnej.

Podobnie, znów sposób Christiansena oznaczania wzajemnego stosunku przewodnictwa cieplnego w dwóch warstwach złych przewodników, albo O. Lodge'a metoda „pręta podzielonego", stanowią nieznacznie zmienione modyfikacye metod, używanych do oznaczania przewodnictwa elektrycznego, tak, że każde specyalne rozwiązanie może znaleść zastosowanie do wszystkich owych zjawisk. Zagadnienia dwuwymiarowe mają jeszcze liczne inne analogie, np. w rozmieszczeniu ciśnień i przesunięć po przekroju belek skręconych i przegiętych. Otóż

Wiadomo, że równanie różniczkowe $\Delta^2 U = 0$ można zastąpić przez założenie „całkowe", iż siły pochodzą od punktów grawitacyjnych, elektrycznych czy magnetycznych, działających według prawa zasadniczego $\frac{1}{r^2}$; że tak samo hydrodynamikę idealną można rozwinąć w założeniu, iż prąd cieczy pochodzi z istnienia pewnych źródeł (wypływów), powodujących prąd o prędkości $\frac{1}{4\pi r^2}$ w odległości r od źródła jednostkowego.

Rozważając bliżej powyższe przykłady, spostrzegamy między niemi dość wyraźną różnicę: mianowicie trzy rodzaje przewodzenia lub przenikania elektryczności, ciepła i materyi dyfundującej łą-

czą się między sobą o wiele ściślejszą analogją, aniżeli z innemi przykładami. Istotnie zaznacza się w nich wspólność[1] dwóch zasad podstawowych:

1) Substancjalizacja elektryczności, ciepła, materji; występuje ona w równaniu „niezniszczalności“ lub ciągłości, według wzoru

$$-\frac{\partial c}{\partial t}=\frac{\partial (cu)}{\partial x}+\frac{\partial (cv)}{\partial y}+\frac{\partial (cw)}{\partial z},$$

wypowiadającego, że nadmiar ilości ciepła, substancji lub elektryczności (w pewnem przybliżeniu, zob. niżej), wpływających przez powierzchnię każdego elementu, ponad wypływające ilości, nie może zniknąć, lecz zostaje tam nagromadzony.

2) Założenie F o u r i e r o w s k i e proporcjonalności prądu do spadu temperatury, koncentracji i t. p.

Analogja ta nie jest cechą przypadkową; przeciwnie ona była poniekąd rodzicielką tych teoryj.

Wydaje się to zresztą zrozumiałem, jeżeli zapatrujemy się na te zjawiska, jako na równorzędne rodzaje rozpraszania energji, podlegające wspólnemu „prawu zanikania“.

Wspólność owych zasad jest przyczyną, że analogja pozostaje po części ważną i dla stanu zmiennego z czasem.

Istotnie, np., prawo, według którego temperatura zmienia się z czasem w punktach pręta, mającego początkowo jednostajną temperaturę 0, a w chwili $t=0$ ogrzanego w jednym końcu do stopnia θ_0:

$$\theta=\theta_0\left[1-\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\frac{x}{2\sqrt{kt}}} e^{-y^2}\,dy\right],$$

jest identyczne ze wzorem, który podaje wzrost potencjału w długim kablu, którego koniec został połączony z baterją; a na tym samym wzorze także opiera się metoda, służąca do oznaczania współczynnika dyfuzji z ilości substancji, która z naczynia napełnionego roztworem przeniknęła do wnętrza rurki, początkowo czystą wodą napełnionej; metoda, zastosowana z małą odmianą przez G r a h a m a, a później zwłaszcza przez S t e f a n a.

1) [Por. pracę Lorda Kelvina Five Applications of Fourier's Law of Diffusion (Brit. Association Report for 1888), przedrukowaną w Mathematical and Physical Papers, Vol. III., pp. 428–435, Cambridge University Press 1890; przyp. wyd.]

Co najciekawsze, rozgałęzienia tych analogij sięgają nawet do teoryi mechanizmów owych zjawisk i nawet do wartości spółczynników. Wszak przewodzenie elektryczne w elektrolitach uważamy za objaw dyfuzyi jonów. Teorya gazów tłómaczy wewnętrzny mechanizm dyfuzyi, oraz przewodzenie ciepła w gazach, w zupełnie analogiczny sposób.

Prawo Wiedemanna i Franza, wypowiadające proporcyonalność pomiędzy sobą spółczynników przewodnictwa elektrycznego i cieplnego dla rozmaitych metali, zaś wskazywać się zdaje wewnętrzne pokrewieństwo tych dwóch zjawisk, występujące także w tem, że one obadwa podlegają w podobny sposób wpływowi pola magnetycznego.

Istotnie, nowsza teorya elektronów stara się usilnie o wytłómaczenie pokrewieństwa tych ze sobą złączonych dziedzin na podstawie hypotezy dyfuzyi elektronów.

Porównywając w taki sposób owe trzy zjawiska z innemi przedtem wspomnianemi przykładami, możnaby pomyśleć o odróżnieniu ich, jako analogij istotnych lub rzeczywistych, t.j. polegających na głębszych przyczynach, od analogij natury czysto formalnej, wytworzonej przez przypadkowe podobieństwo wywodu matematycznego; rzeczywiście napotykamy u różnych autorów takie twierdzenia.

Do pierwszej kategoryi należałyby, oprócz właśnie wymienionych, także np. pokrewieństwo zjawisk głosu do światła i drgań elektrycznych; do analogij formalnych zaś np. wspomniane podobieństwo rozkładu prądu cieczy i potencyału w polu elektrostatycznem, podobieństwo linii łańcuchowej do promienia światła, przechodzącego przez ośrodek o strukturze warstwowanej; podobieństwo, które odnajdujemy znowu w pewnem zadaniu dynamiki punktu materyalnego (Thomson i Tait, Treatise on Natural Philosophy, Cz. II, 124. § 581).

Mimo, że taki podział wydaje się bardzo naturalnym i w istocie rzeczy uzasadnionym, nie sądzę jednak, żeby on dał się utrzymać lub wogóle tylko konsekwentnie przeprowadzić, gdyż różnice gatunków analogij, przedstawione tu w kilku skrajnych przykładach, są przecież tylko stopniowe. Tak np. analogia omówionego przykładu ładowania kabla elektrycznego ze zmiennym rozkładem

temperatury pręta, ogrzanego na jednym końcu, zatraca się zupełnie, gdy uwzględnimy jeszcze zjawiska indukcji elektromagnetycznej, odgrywające przeważną rolę w kablach krótkich o małym oporze, tj. gdy uzupełnimy obliczenie Kelvina w taki sposób, jak to Kirchhoff uczynił.

Ogólne równanie stanu zmiennego cieplnego

$$c\rho \frac{\partial \theta}{\partial t} = K \Delta^2 \theta$$

nie ma wogóle analogji w elektryczności; ponieważ tam równania zasadnicze stanu zmiennego są o wiele bardziej skomplikowane i pojęcie potencjału skalarnego nie da się tam ogólnie zastosować. Wprawdzie może także i owo równanie cieplne dozna kiedyś poprawki przez uwzględnienie zjawisk bezwładności cieplnej, ale nie zdaje się, żeby to mogło nastąpić według równań Hertzowskich.

Zresztą i w prostych przypadkach ustaje ta analogja, gdy uwydatnia się różnica ładunków powierzchownych elektrycznych a przestrzennego rozmieszczenia ciepła. Znacznie ściślejsza jest analogja dyfuzji materji i ciepła, ale i ona upada przy rozszerzeniu rozważań na zjawiska termodynamiki, okazującej, że ciepło nie jest niezniszczalne, co dotychczas przyjmujemy za zasadniczą własność „materji".

Oczywiście gdyby analogja tych zjawisk była zupełna, nie bylibyśmy wcale utworzyli osobnych nazwisk do ich oznaczenia. Obecnie porzuciliśmy naiwne pojęcie ciepła jako substancji fluidum i uważamy je za rodzaj ruchu drobinowego, ale czyż to przypuszczenie nie polega także ostatecznie tylko na dostrzeżeniu pewnej analogji?

Jest to wogóle rzeczą niebezpieczną wierzyć w rzeczywistość hypotez fizycznych; równie naiwnymi będą się może kiedyś wydawali ci, którzy wierzą jedynie w realny byt materji (w związku z niezmiennością masy) jak ci, którzy obecnie w podobny sposób ubóstwiają energię.

Wszakże najbardziej wykończone teorje fizyki nie mają innego znaczenia jak tylko to, że uwydatniają pewne analogje. Zjawiska elektryczne tak się odbywają, jak gdyby istniał pewien me-

chanizm ukryty; właściwości gazów są analogiczne do właściwości zbioru cząsteczek poruszających się i t. p.

Ewolucya nauki odbywa się w ten sposób, że analogii prostszej, oczywiście, większą przypisujemy wagę, niż takiej, która ma bardziej ograniczony zakres ważności cech wspólnych; choć i ta często nie jest zupełnie bezużyteczna, podobnie jak i dziś w wielu przypadkach z korzyścią wyobrażamy sobie elektryczność lub ciepło pod postacią „fluidum". Kto naiwnie wierzy w realność teoryj fizycznych, nie pojmuje, jak badacz może ten sam przedmiot traktować z punktów widzenia wręcz przeciwnych, jak to np. Helmholtz uczynił, wypracowując najprzód teoryę mechaniczną absorbcyi świetlnej, a później elektryczną; ale staje się to zupełnie zrozumiałem, jeżeli uważamy jednę i drugą i każdą teoryę fizyczną tylko za analogię.

W tym sensie możnaby powiedzieć, że wszystkie analogie Fizyki są tylko analogiami formalnemi; że na wyszukaniu takich analogij polega wogóle zadanie Fizyki teoretycznej, przez co umożliwia się objęcie myślowe jaknajobszerniejszego zakresu zjawisk fizycznych.

II.

Dziwnem wydać się może, że, pomimo tak daleko idącej teoretycznej analogii, zjawiska trzech wyżej wspomnianych kategoryj tak dalece różnią się w praktyce, że np. zwykłe metody mierzenia często nie wiele mają cech wspólnych. Przyczyna tego faktu jest następująca: w praktyce, oprócz jakościowych praw, niezmiernie ważną rolę odgrywają spółczynniki materyałów; w tym względzie zaś istnieją olbrzymie różnice. Największe są różnice spółczynników elektrycznych różnych materyałów, najmniejsze różnice okazują spółczynniki przewodnictwa cieplnego.

Jest to główna przyczyna nadzwyczajnej dokładności, z jaką wykonywać możemy pomiary elektryczne (np. oporu), i przyczyna niezwykłej łatwości, z jaką energia elektryczna przenosi się na dalekie odległości; jest to zatem główna też przyczyna wogóle praktycznej użyteczności tej formy energii. Co do pierwszego punktu, zważmy, że, mierząc opór dobrego przewodnika, np. drutu, możemy zupełnie pominąć wpływ prądu elektrycznego przez boczną po-

wierzchnię drutu i przez powietrze; mierząc opór złego przewodnika, znów możemy pominąć zupełnie opory elektrod, przywodzących elektryczność. Brak tak doskonałych izolatorów i tak doskonałych przewodników cieplnych utrudnia nadzwyczajnie odpowiednie pomiary cieplne; w tej okoliczności szukać należy głównej przyczyny faktu, że wiadomości nasze w zakresie przewodnictwa cieplnego są jeszcze tak niedostateczne. W rezultatach doświadczalnych, tyczących się przewodnictwa cieplnego, istnieją też znaczne różnice, a nawet sprzeczności.

Dla porównania stopnia izolacyi przewodów elektrycznych i cieplnych, wyobraźmy sobie nieskończenie długi drut miedziany, o promieniu 1 mm., izolowany 1 mm.-ową warstwą gutaperki, w jednym końcu utrzymany na stałym potencyale 100 V; spad jednego volta wskutek niedostateczności izolacyi nastąpi, jak łatwo obliczyć według znanych danych, dopiero na odległości 5500 km; podczas gdy odpowiedni jednoprocentowy spad temperatury drutu, z jednego końca ogrzanego, nastąpiłby w odległości już tylko 3 cm od tego końca.

Nawet najlepsza izolacya cieplna, na sposób butelek Dewara, nie wiele poprawiłaby ten wynik; dlatego też nikomu na myśl nie przyszło rozsyłać do naszych mieszkań energię cieplną[1] zapomocą przewodów cieplnych, t. j. drutów ogrzanych w stacyi centralnej, jak to czynimy z elektrycznością.

W doświadczeniach nad dyfuzyą, izolacya zjawiska nie przedstawia żadnych trudności, ponieważ spółczynniki przenikania ciał stałych są tak małe, że tylko w wyjątkowych przypadkach (jak dyfuzya Au-Pb, według Robertsa Austena) udało się wykazać istnienie w nich wogóle zjawiska dyfuzyi.

Jest rzeczą nadzwyczaj prawdopodobną, że wzajemne przenikanie się ciał stałych (przynajmniej do pewnego stopnia granicy rozpuszczalności) jest zjawiskiem zupełnie ogólnem, nie zaś ograniczonem do tego specyalnego przypadku, ale spółczynniki odpo-

[1]) Używamy jedynie chyba wody lub pary wodnej albo powietrza ogrzanego, rozsyłanego rurami, które zachowują przy transporcie (w ogrzewaniu centralnem) zawartość swoją cieplną przybliżenie niezmienioną.

wiednie są tak małe, że nie spostrzegamy nigdy, ażeby np. kawał żelaza, leżąc na miedzi, wchłonął już jej część w siebie; trwałość stanu ciał stałych zwykliśmy uważać za coś samo przez się zrozumiałe; rzeczywiście, jedynie wskutek tego możliwe jest wytwarzanie substancyj stosunkowo czystych, a zatem też wogóle rozwój chemii jako nauki.

Ta powolność nadzwyczajna jest po części wspólną cechą wszystkich zjawisk dyfuzyjnych, ona też głównie powoduje olbrzymie trudności odpowiednich badań także w gazach i w cieczach. Nie tylko bowiem czas trwania jednego doświadczenia musi być bardzo długi, ażeby ilości przenikające były dostatecznie wielkie, do zmierzenia wystarczające, ale wskutek tego trzeba też zazwyczaj ogromnej staranności, ażeby przeszkodzić powstawaniu prądów konwekcyjnych. Odnosi się to zwłaszcza do szerszych naczyń, gdzie drobna nawet nierównomierność temperatury wystarcza już do wytworzenia prądów, fałszujących zupełnie wynik doświadczenia; używając wązkich naczyń, zmniejszamy znów w tym samym stosunku ilość substancyi przenikającej.

Z powodu tej powolności dyfuzyi trzebaby długo czekać, aż ustanowi się stan rzeczy trwały; zwykle bywają też zastosowywane metody, polegające na czasowej zmienności koncentracyi, jak owa już wspomniana metoda G r a h a m a.

Do rozkładu zmiennego nie mamy ścisłej analogii w elektryczności, jak już wspomnieliśmy, w teoryi przewodnictwa ciepła spółczynnikiem analogicznym, zastępującym stałą dyfuzyi w prawie zasadniczem

$$\frac{\partial c}{\partial t} = k \Delta^2 c,$$

nie jest przewodnictwo cieplne, lecz raczej t. z. przewodnictwo temperatury (t. j. $\frac{k}{c\rho}$), którego wartości jeszcze o wiele mniej różnią się w rozmaitych ciałach pomiędzy sobą, aniżeli wartości samego przewodnictwa cieplnego.

Ilościową różnicę właściwości tych zjawisk przedstawi następujący przykład. Przyjmując jako 4000° temperaturę pierwotną kuli ziemskiej, ochłodzonej nagle na powierzchni aż do dzisiejszej

temperatury, a 0·015 jako spółczynnik przewodnictwa temperatury (granitu, gnejsu, marmuru, porfiru), otrzymalibyśmy według wzoru

$$\theta = \frac{2\theta_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{kt}}} e^{-x^2}\, dx \quad ,$$

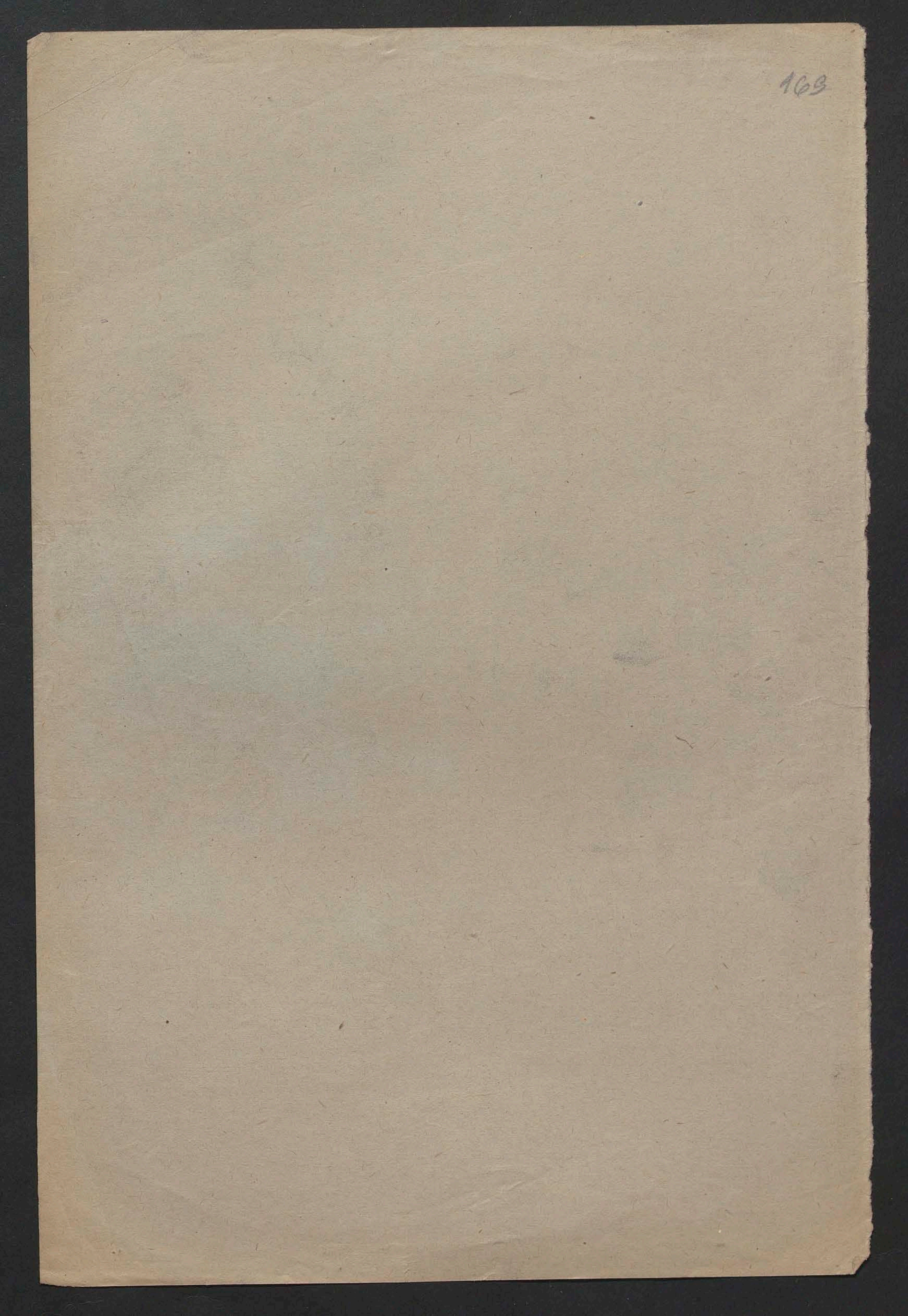
wynik, że po upływie 30.000.000 lat (t. j. czasu potrzebnego, ażeby gradient temperatury tuż przy powierzchni był = [illegible]) ochłodzenie ograniczałoby się jeszcze do warstwy grubości 130 km, a w tej głębokości temperatura pierwotna była obniżona dopiero o 1%. Powolne postępowanie ochłodzenia tego, nawiasem mówiąc, wcale nie wpływa na klimat ziemi, gdyż ciepło, z wnętrza ziemi ku powierzchni ziemi napływające, wynosi ledwie część ilości, którą ona otrzymuje od słońca.

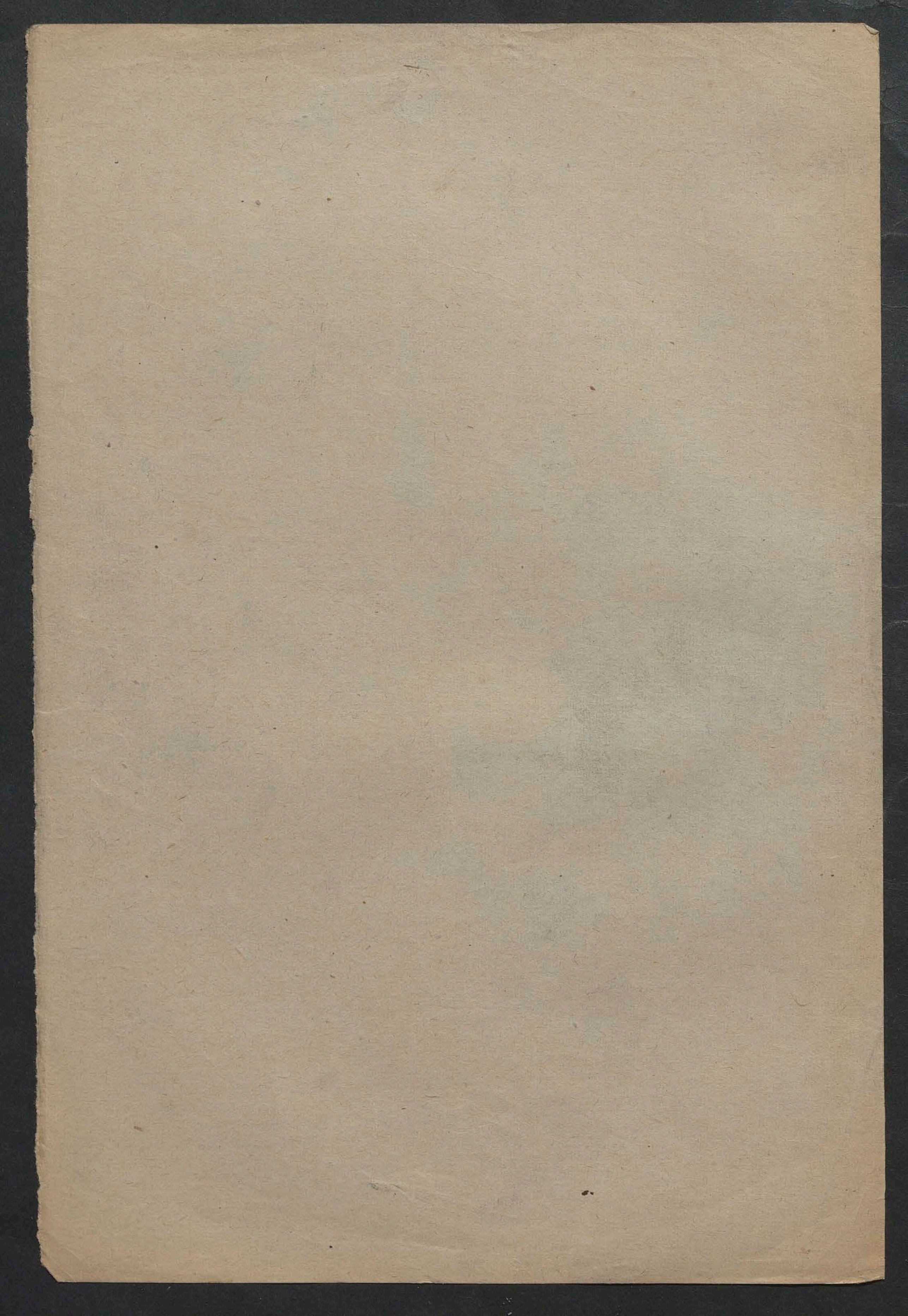
Gdyby w podobny sposób, od owego czasu, morze pokryte było warstwą bezustannie czystej wody, zmiana stężenia jednoprocentowa byłaby postąpiła tylko do głębokości 5·5 km (naturalnie przy zupełnem pominięciu prądów).

Powolność dyfuzyi jest też przyczyną, że atmosfera ziemska ma skład nadzwyczaj jednakowy, ponieważ dążność gazów cięższych do opadania, lżejszych do wznoszenia się, i dążność mórz do nasycania powietrza wilgocią, zostaje zupełnie zneutralizowana, przynajmniej w dolnych warstwach, przez prądy konwekcyjne, mieszające ją bezustannie.

Powolność zjawisk dyfuzyjnych nadzwyczajnie jest ważna dla życia organicznego, gdyż wymiana materyi w organizmach, choć częściowo ułatwiona przez krążenie soków, następuje drogą dyfuzyi; ona też jest miarodajna dla prędkości odpowiednich procesów chemicznych, a więc od niej zależy długość życia organizmów.

Tak owe stałe spółczynniki w równaniach analogicznych, spółczynniki, które dla fizyki matematycznej są dość obojętne, mają pierwszorzędne znaczenie dla fizyki doświadczalnej, gdyż od nich przeważnie zależy przydatność metod mierniczych, a co ważniejsza, doniosłość owych zjawisk dla przyrody i człowieka.





M. v. Smoluchowski. Überreicht vom Verfasser.

LXVI

II

Elektrische Endosmose und Strömungsströme.

III 1928

S. 246–346

Von

M. v. Smoluchowski.

XVII



Sonderdruck aus dem

Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus

herausgegeben von

L. Graetz, München.

Band II.

[60]

Leipzig

Verlag von Johann Ambrosius Barth

1914

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

BATTELLI, A., A. OCCHIALINI und S. CHELLA, Die Radioaktivität. Aus dem Italienischen übersetzt von Dr. Max Iklé. XII, 428 Seiten mit 144 Figuren im Text. 1910. M. 6.40; geb. M. 7.40.

Zentralblatt für Röntgenstrahlen etc.: Die Verfasser entwickeln die Lehre von der R. in höchst anschaulicher Weise aus den Erscheinungen der Ionisation und der physikalischen Strahlungen. Die Schilderung der Apparate und ihre Handhabung ist besonders geschickt. Da das Buch exakt-physikalische Darstellung mit populär verständlicher Sprache verbindet, eignet es sich besonders gut als Hilfs- und Nachschlagebuch.

NAIRZ, OTTO, Einführung in die Elektrotechnik. Unter Zugrundelegung der Vorlesungen Prof. Slabys. VIII, 415 Seiten mit Abbildungen im Text. 1913. M. 10.—, geb. M. 11.—.

Das aus Vorlesungen entstandene Werk, dessen Inhaltsbearbeitung die wirksame Gestalt Slabys wieder erstehen läßt, erscheint für Hochschul-Studienzwecke besonders geeignet und darf zum Unterschiede gegen viele andere gleichnamige Werke als wahrhafte Einführung in die Theorie der Elektrotechnik bezeichnet werden. Hier wird in fesselnder Weise der Grund für einen durchgreifenden wissenschaftlichen Studiengang gelegt.

Sehr anzuerkennen ist vor allem das Bestreben des Verfassers in seiner Schrift insofern in Slabys Fußtapfen zu treten, daß er sich bestrebt „elementar" zu bleiben und doch wissenschaftlich zu sein. Das war ja wie bekannt der Hauptgrund, weshalb die Kollegs von Slaby sich so allgemeiner Beliebtheit erfreuten.

Eine große Zahl sehr sachlicher Skizzen begleiten den Text und erleichtern sein Verständnis.

EBERT, H., Magnetische Kraftfelder. Die Erscheinungen des Magnetismus, Elektromagnetismus und der Induktion, dargestellt auf Grund des Kraftlinien-Begriffes. Zweite, vollkommen neubearbeitete Auflage. 8°. XII, 415 Seiten mit 167 Abb. im Text. 1905. M. 7.—; geb. M. 8.—.

Zeitschr. f. d. physik. u. chem. Unterr.: Völlig überflüssig wäre es, die Fachgenossen auf den hervorragenden Wert des vorliegenden Werkes noch besonders hinzuweisen. Ist es doch die beste wissenschaftliche Rüstkammer für die Entscheidung der jetzt im Vordergrunde stehenden methodischen Frage, wie und in welchem Umfang der Kraftlinienbegriff in dem physikalischen Unterricht der verschiedenen höheren Lehranstalten zu verwerten sei.

EBERT, H., Anleitung zum Glasblasen. Vierte, umgearbeitete und erweiterte Auflage. XII, 123 Seiten mit 75 Abbildungen. 1912. M. 2.80, geb. M. 3.50.

Chemiker-Zeitung: Die Erfahrungen, welche der Verfasser sowohl beim Glasblasen wie beim Unterricht gesammelt hat, haben ihn auf den fruchtbaren Gedanken gebracht, die Anleitung zum Glasblasen in die Form eines systematischen, aus fünf Übungsstufen bestehenden Unterrichtskursus zu bringen, welcher alle im Laboratorium gewöhnlich zur Anwendung kommenden Glasbläserarbeiten berücksichtigt . . . Die Darstellung ist knapp und überaus klar und läßt überall erkennen, daß der Verfasser, welcher es in seiner Wissenschaft zu hohem Ansehen gebracht hat, auch in der Kunst des Glasblasens Meister ist.

FOURNIER D'ALBE, E. E., Die Elektronentheorie. Gemeinverständliche Einführung in die moderne Theorie der Elektrizität und des Magnetismus. Deutsch von J. Herweg. VI, 326 Seiten und 35 Figuren. 1908. M. 4.80; geb. M. 5.60.

Physikalische Zeitschrift: Das vorliegende Werk hält auf seinen reichlich 300 Textseiten wirklich das, was es im Titelblatt verspricht, nämlich ein gemeinverständlicher Führer in die neueren Theorien zu sein. In diesem Sinne verdient es aufrichtig empfohlen zu werden.

Chemiker-Zeitung: Tatsächlich erfordert das Werk, das nunmehr auch in deutscher, und wie man gern zugeben kann, vorzüglicher Übersetzung erschienen ist, keinerlei erhebliche Vorkenntnisse mathematischer oder physikalischer Natur, so daß seine Lektüre jedem nur halbwegs naturwissenschaftlich Gebildeten ermöglicht wird. Die vorzügliche Ausstattung und der mäßige Preis des umfangreichen Buches verdienen volle Anerkennung.

LODGE, SIR OLIVER, Radioaktivität und Kontinuität. Zwei Vorträge: I. Die Entdeckung der Radioaktivität und deren Einfluß auf die Entwicklung der Physikalischen Wissenschaft. Becquerel-Gedächtnisrede, gehalten am 17. Oktober 1912 vor der Chemical Society. — II. Kontinuität. Eröffnungsrede, gehalten auf der Versammlung der British Association zu Birmingham 1913. IV, 217 Seiten. 1914. M. 5.—, geb. M. 6.—.

Diese beiden Vorträge des großen englischen Physikers behandeln Fragen, die weit über den Kreis der Fachgenossen hinaus das lebhafteteste Interesse für sich in Anspruch nehmen müssen. Im ersten Vortrag legt der Verfasser dar, wie die Entdeckung der Radioaktivität auf unser naturwissenschaftliches Denken bestimmend wirkt. Im zweiten Vortrag legt der Verfasser sein physikalisches Glaubensbekenntnis ab. Sicherlich werden die interessanten Ausführungen des Verfassers und seine vielseitigen Darlegungen Anhänger und Gegner in gleichem Maße fesseln und anregen.

Handbuch der Physik. 2. Auflage. Unter Mitwirkung von zahlreichen Fachgelehrten herausgegeben von Prof. Dr. A. Winkelmann in Jena. In 6 Bänden. Lex. 8°. M. 220.—, geb. M. 234.—.

Natur und Offenbarung: Nicht nur in den Reihen der Fachphysiker, sondern auch aller Naturwissenschaftler, welche sich mit den der Physik verwandten Gebieten befassen, wird die Neubearbeitung des Handbuches der Physik von Winkelmann als eine erfreuliche Tatsache begrüßt werden. Denn seit dem Abschluß, noch mehr aber seit Beginn der Auflage des vierbändigen Werkes wurden nicht nur in einzelnen Disziplinen umwälzende Entdeckungen gemacht, sondern es sind damals vollkommen neue Gebiete unserer Wissenschaft erschlossen worden. Das letztere gilt in besonders hohem Grade von der Elektrizität und es ist deshalb sehr dankenswert, daß gerade der die Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus enthaltende Band zuerst erschien.

HERTZ, H., Gesammelte Werke. Band I. Schriften vermischten Inhalts. XXIX, 368 S. mit vielen Fig., 1 Tafel. Einleitung v. Ph. Lenard u. Porträt d. Verf. 1895. Preis M. 12.—. Band II. Untersuchungen üb. d. Ausbreitung d. elektr. Kraft. VIII, 296 S. m. 40 Fig. 3. Aufl. 1913. M. 6.—. Bd. III. D. Prinzipien d. Mechanik i. neuem Zusammenhange dargest. Mit ein. Vorw. v. H. v. Helmholtz. 2. Aufl. XXXII, 312 S. 1910. M. 12.—. In Halbfr. geb. jed. Bd. M. 1.50 mehr.

Das Lebenswerk des früh dahingegangenen Gelehrten liegt in den vorstehenden drei Bänden nun abgeschlossen vor. Je mehr man sich in die geistvollen und klaren Darstellungen versenkt, um so mehr bedauert man, daß der Tod seinem Wirken ein so kurzes Ziel gesteckt hat.

XVII. Elektrische Endosmose und Strömungsströme.

Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus. In fünf Bänden. Herausgegeben von Prof. Dr L. Graetz. Band II, Lieferung 2; pp. 366 – 428. Leipzig, Verlag von Johann Ambrosius Barth. 1914

~~Elektrische Endosmose und Strömungsströme.~~

~~Von M. v. Smoluchowski.~~

~~(Die Literatur ist bis Ende 1913 berücksichtigt.)~~

A. Ältere Untersuchungen. Empirische Gesetze.

§ 1. Übersicht und Nomenklatur. Eine ganz eigenartige, von der elektrolytischen Überführung fundamental verschiedene Klasse von Erscheinungen bilden die mechanischen Bewegungen, welche an den Grenzflächen zweier Medien (in der Regel Flüssigkeit — fester Körper) durch tangentiale elektrische Strömung hervorgerufen werden, sowie das inverse Phänomen: die Erzeugung elektrischer Ströme durch mechanische Verschiebung zweier Medien entlang ihrer Trennungsfläche.

Da diese Erscheinungen am augenfälligsten an Flüssigkeiten auftreten, welche sich innerhalb fester Wände von großer Oberfläche, z. B. poröser Diaphragmen, befinden, und in diesem Falle seit langem als „elektrische Endosmose" bekannt sind, erscheint es zweckmäßig, diese ganze Klasse von Erscheinungen mit dem gemeinsamen Namen elektroendosmotische oder kurz elektrosmotische Phänomene zu bezeichnen.[1]

Sie zerfallen, je nachdem der elektrische Strom als Ursache oder als Wirkung auftritt und je nachdem die Flüssigkeit oder der feste Körper sich in Ruhe befindet, in vier Kategorien:

Elektr. Strom bewegt:	Elektr. Strom erzeugt durch Bewegung von:	
Flüssigkeit (Elektrische Endosmose)	Flüssigkeit (Diaphragmenströme, Strömungsströme)	innerhalb ruhender fester Wände
feste Teilchen (Elektrische Kataphorese)	festen Teilchen (Kataphoretische Ströme)	innerhalb ruhender Flüssigkeit

Manche Autoren bezeichnen auch die elektrische Endosmose als „Kataphorese"; hier wird im Anschluß an Freundlich der letztere Ausdruck ausschließlich im Sinne der Überführung von in Flüssigkeiten suspendierten Teilchen verwendet; dem gegenüber können die elektrische Endosmose und die Strömungsströme als elektrosmotische Erscheinungen im engeren Sinne bezeichnet werden.

I. Elektrische Endosmose.

§ 2. Elektrosmose durch Tondiaphragmen. Die elektrische Endosmose beobachtet man leicht, wenn man in ein U-Rohr, dessen Biegung mit Watte, Ton, Sand oder dgl. verstopft ist, Wasser einfüllt und von den beiden Enden her einen genügend kräftigen elektrischen Strom durchleitet. Es wird dabei das Wasser in der Richtung des positiven Stromes überführt; diese Erscheinung tritt in reinem, schlecht leitendem Wasser recht augenfällig auf, ebenso auch in Alkohol, aber nicht in stark angesäuertem Wasser.

Sie ist zuerst von Reuss[2]) in Moskau 1809 entdeckt, dann von Porret[3]) beobachtet worden, aber genaue Messungen hat erst Wiedemann[4]) 1852 ausgeführt,

[1]) Die von manchen Autoren gebrauchten Namen: „reibungselektrische" oder „elektrokinetische" Vorgänge erscheinen mir weniger zweckmäßig; insbesondere beruht die sogen. Reibungselektrisierung fester Körper auf einem hiervon wesentlich verschiedenen Mechanismus (siehe § 73)

[2]) F. Reuss, Mém. Soc. Naturalistes Moscou. **2.** 327. 1809.

[3]) R. Porret, Gilb. Ann. **66.** 272. 1816.

[4]) G. Wiedemann, Pogg. Ann. **87.** 321. 1852.

indem er die Flüssigkeitsmengen bestimmte, welche mit Hilfe von Strömen von gemessener Stärke durch poröse Tondiaphragmen hindurch geführt werden. Die dabei übergeführten Flüssigkeitsmengen waren sehr bedeutend, einige hundertmal so groß wie die gleichzeitig an den Elektroden zersetzte Menge, so daß sie bequem gemessen werden konnten.

Als Beispiel sei eine auf Wasser bezügliche Versuchsreihe angeführt, wobei die (in willkürlichem Maße gemessene) Stromstärke mit J, die pro Viertelstunde übergeführte Wassermenge mit M bezeichnet sei:

J	144	108	83	60	48	36	29
M	17,77	13,26	10,59	7,46	5,89	4,47	3,38
M/J	0,123	0,123	0,127	0,124	0,123	0,124	0,117

Wir sehen, daß das Verhältnis M/J merklich konstant blieb, und dasselbe war auch der Fall, wenn die durchlässige Oberfläche des Diaphragmas durch Bestreichen mit Harz verkleinert oder wenn dessen Dicke durch Abschaben verringert wurde. Analoge Messungen wurden an verschieden konzentrierten Lösungen von $CuSO_4$ vorgenommen.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen spricht WIEDEMANN den Satz aus: „Die Menge der in gleichen Zeiten durch die Tonwand übergeführten Flüssigkeit ist der Stromintensität direkt proportional und unter sonst gleichen Bedingungen von der Oberfläche und Dicke der Tonwand unabhängig."

Die Unabhängigkeit von letzteren Umständen läßt sich auch direkt mittelst eines von HITTORF[1]) konstruierten Apparates zeigen, in welchem die Differenz der durch zwei Diaphragmen von verschiedener Dicke (oder Oberfläche) übergeführten Flüssigkeitsmengen zum Vorschein kommen würde, falls eine solche bestünde.

Der Quotient M/J (auch WIEDEMANNsche Zahl genannt) erweist sich dagegen in hohem Grade abhängig von der Natur der angewendeten Flüssigkeit, sowie des Diaphragmas. Dabei treten nicht nur große quantitative Unterschiede auf, sondern in einigen Fällen[2]) wurde auch eine Fortführung im umgekehrten Sinne (negative Elektrosmose) beobachtet. WIEDEMANNS Versuche mit Salzlösungen verschiedener Konzentration schienen auf eine angenäherte umgekehrte Proportionalität jenes Quotienten mit dem Salzgehalt hinzudeuten.

§ 3. Elektrosmotischer Druck bei Diaphragmen. Um diesbezüglich genauere Ergebnisse zu erhalten, beobachtete WIEDEMANN in der Folge an Stelle der elektrosmotischen Überführung den dieselbe kompensierenden hydrostatischen Druck. Es war nämlich vorauszusehen, daß dieser ein direktes Maß für die elektrosmotische Kraft sein werde, während die übergeführte Flüssigkeitsmenge überdies von dem Werte des Zähigkeitskoeffizienten abhängen muß.

Es wurde also das Gefäß, in welches die Flüssigkeit durch die Elektrosmose übergeführt wird, geschlossen und mit einem Quecksilbermanometer verbunden; der Quecksilbermeniskus stieg dann bei Einleitung des Stromes, bis ein Druck erreicht wurde, dessen Höhe von der Stromstärke, den Dimensionen des Diaphragmas und der Konzentration der Lösung abhing. Es handelte sich um die Abhängigkeit dieses elektrosmotischen Druckes P von den genannten Faktoren. Die Versuche WIEDEMANNS mit $CuSO_4$-Lösungen ergaben diesbezüglich:

1. Proportionalität des Druckes P mit der Stromstärke J; beispielsweise bei Verwendung einer 19 % Lösung:

J	128	109	97	73	65,3	58,3	45	26,5	13
P	176,5	147,5	132,5	100,5	89,0	80,5	61,0	37,5	19,5
P/J	1,38	1,35	1,37	1,38	1,36	1,38	1,36	1,41	1,36

[1]) W. HITTORF, Pogg. Ann. **98**. 8. 1856.

[2]) z. B. H. MUNCK, Archiv f. Physiol. 1873. p. 241, 505. — G. GORE, Proc. Roy. Soc. **31**. 253. 1880. — G. QUINCKE, Pogg. Ann. **113**. 513. 1861.

2. Umgekehrte Proportionalität mit der freien Oberfläche Ω des Tondiaphragmas, z. B. (wenn die ursprüngliche Oberfläche als Einheit angenommen wurde):

Ω	1,00	0,70	0,40	0,20
P/J	1,37	1,80	3,42	6,00
$\Omega P/J$	1,37	1,26	1,37	1,20

3. Proportionalität mit der Dicke d desselben:

d	8,00	4,00	1,70—2,00 mm
P/J	3,30	1,62	0,73
P/Jd	0,41	0,40	0,43—0,36 mm

4. Angenäherte Proportionalität mit dem spezifischen Widerstand σ der $CuSO_4$-Lösung:

Prozentgehalt	16,25	9,22	6,60	3,40	1,80
σ	18,00	27,00	32,50	55,50	100,00
P/J	1,35	1,98	2,44	3,79	6,80
$P/J\sigma$	7,50	7,33	7,50	6,83	6,80

Die von WIEDEMANN erhaltenen Resultate lassen sich also in der angenäherten Formel zusammenfassen:

$$P = c\frac{J\,d\,\sigma}{\Omega} \tag{1}$$

(wo c eine Konstante bedeutet), oder da $Jd\sigma/\Omega$ nach OHMS Gesetz der Potentialdifferenz $V_1—V_2$ zu beiden Seiten des Diaphragmas proportional ist:

$$P = c\,(V_1—V_2) \tag{2}$$

Mithin wäre der elektrosmotische Druck für Lösungen verschiedener Konzentration (angenähert) der Potentialdifferenz $V_1—V_2$ proportional, unabhängig von den näheren Versuchsumständen.

Genauere Messungen derselben Art sind später von FREUND[1] ausgeführt worden, und zwar insbesondere zum Zweck näherer Untersuchung des Einflusses der Konzentration der Lösung. Da sich nämlich die Konzentration der beiderseitigen Elektrolyten infolge des Stromdurchganges verändert, hat FREUND sowohl die Konzentration p (in Gewichtsprozenten ausgedrückt) wie auch die Leitfähigkeit, und zwar sowohl vor Beginn des Versuches, wie auch nach demselben in dem inneren (kathodischen) und in dem außeren (anodischen) Gefäß, gemessen und dabei auch auf die Versuchstemperatur, welche eine ziemlich bedeutende Rolle spielt, geachtet. Als Beispiel sei eine Reihe von Resultaten, nach dem Prozentgehalt geordnet, wiedergegeben, welche sich auf $CuSO_4$-Lösungen bei einer Temperatur von 15,0 bis 16,1° beziehen. Dabei bezeichnen i und a die auf das innere resp. äußere Gefäß bezüglichen Werte:

J (Amp.)	P (mm)	p_i	p_a	$\frac{1}{\sigma_i}\cdot 10^8$	$\frac{1}{\sigma_a}\cdot 10^8$	$\frac{P}{J\sigma_i}\cdot 10^6$	$\frac{P}{J\sigma_a}\cdot 10^6$
0,650	59,4	24,4	25,7	448	440	409	402
0,629	58,1	19,6	20,2	421	426	388	393
0,642	57,6	19,6	20,3	420	426	377	383
0,648	54,0	19,2	20,7	426	438	355	365
0,603	52,3	14,5	15,4	367	377	318	327
0,571	46,8	13,6	14,8	357	375	293	307
0,515	52,2	10,7	10,5	306	301	333	305
0,465	48,6	9,50	10,6	276	298	289	312
0,356	53,4	5,43	5,81	181	190	272	285
0,377	54,5	5,38	6,12	182	201	262	290
0,190	52,9	1,72	1,99	66,3	76,3	186	213

[1]) C. FREUND, Wied. Ann. 7. 53. 1879.

Diese Messungen beweisen, daß die von WIEDEMANN vermutete angenäherte Proportionalität des Druckes mit dem spezifischen Widerstand der Lösungen kein allgemeines Gesetz ist; zwar erweist sich der Koeffizient c der Formel (1) für $CuSO_4$-Lösungen einigermaßen konstant, nimmt jedoch für $ZnSO_4$-Lösungen mit wachsender Konzentration zu; für $Cu(NO_3)_2$ und $Zn(NO_3)_2$ nimmt er bedeutend ab. Dies gilt sowohl wenn die innere als auch wenn die äußere Konzentration als maßgebend betrachtet wird; dabei zeigt sich, daß für starke Konzentrationen zwischen den Lösungen verschiedener Salze große Unterschiede im Werte jenes Koeffizienten bestehen, daß aber die Unterschiede mit zunehmender Verdünnung abnehmen.

Im übrigen sind auch die Messungen von FREUND zur Ableitung genauer Zahlenwerte nicht geeignet, da für die Elektrosmose die Konzentration in unmittelbarer Umgebung des Diaphragmas maßgebend sein muß, welche weder mit den i- noch mit den a-Werten identisch ist. In dieser Hinsicht wären jene Versuche wohl einer Verbesserung fähig. Auch müßte bei der Berechnung noch eine Fehlerquelle in Betracht gezogen werden, auf welche VAN DER VEN[1]) aufmerksam gemacht hat, nämlich die Differenz des hydrostatischen Druckes im inneren und äußeren Raume infolge verschiedener Konzentration der beiden Flüssigkeitssäulen.

Weitere Versuche über derartige Erscheinungen siehe § 27, 28, 40, 42, 45, 49—53.

§ 4. Flüssigkeitsbewegung in Kapillarröhren bei Entladung von Leydener Flaschen. Einen bedeutenden Fortschritt in der Erkenntnis des Mechanismus dieser Phänomene stellen die Versuche von QUINCKE[2]) dar und diese haben zur Aufklärung der ganzen Erscheinung wesentlich beigetragen. Um nämlich genauer definierte Versuchsbedingungen zu erzielen, benutzte QUINCKE an Stelle des Tondiaphragmas gläserne Kapillarröhren und stellte fest, daß auch in diesen eine Überführung, resp. ein elektrosmotischer Druck auftritt, ebenso wie bei Diaphragmen; nur mußte er hierbei erheblich höhere Potentialdifferenzen anwenden, um merkliche Wirkungen zu erzielen.

Um quantitative Messungen anzustellen, verband QUINCKE eine unter geringem Winkel zur Horizontalebene geneigte Kapillare, in welche an drei Stellen als Elektroden dienende Platindrähte eingeschmolzen waren, mittels eines U-förmigen Verbindungsstückes mit einem weiteren Gefäß, in welches Flüssigkeit zu passender Höhe eingefüllt wurde. Sobald zwischen den Elektroden die Entladung von Leydener Flaschen eingeleitet wurde, trat eine Verschiebung des Meniskus in der Kapillare ein (und zwar im Sinne der Stromrichtung, falls Wasser angewendet wurde), deren Größe mikroskopisch gemessen wurde.

Als Beispiel sei folgende Messungsreihe angeführt, in welcher Wasser in einer Kapillare von der inneren Weite 0,9 mm, Länge 200 mm, Neigungswinkel $5^0\,43{\cdot}5'$ verwendet wurde. Darin bedeutet q die Anzahl der Funken der LANEschen Maßflasche, welche ein Maß der durchgesandten Elektrizitätsmenge bildet, Δh ist die Verschiebung (1 Skalenteil = 0,0437 mm), $-\Delta h$ die bei Kommutierung der Entladung stattfindende Verschiebung. In der letzten Zeile sind die unter Annahme der Proportionalität von Δh zu q berechneten Werte angegeben.

q	60	40	30	20	10	5
Δh	48,8	34,5	23,9	14,3	7,5	4,1
$-\Delta h$	−47,0	−32,1	−22,2	−14,8	−7,3	−3,5
Δh ber.	47,3	31,5	23,6	15,8	7,9	3,9

Es folgt also, daß die Verschiebung des Meniskus proportional ist der durch die Flüssigkeit geleiteten Elektrizitätsmenge.

Ferner wurde die vom Strom durchflossene Länge der Röhre variiert, indem die Entladung zwischen je zwei der drei eingeschmolzenen Elektroden hindurch-

[1]) E. VAN D. VEN, Arch. d. Musée Teyler. **8.** 93, 199, 363, 489. 1902/03; **9.** 97, 217, 573. 1904/05; **10.** 85, 433. 1907; **11.** 185. 1908.

[2]) G. QUINCKE, Pogg. Ann. **113.** 513. 1861.

geleitet wurde; dies ergab Proportionalität der Verschiebung zur Länge der stromdurchflossenen Flüssigkeitssäule.

Versuche mit einem aus zwei Teilen von verschiedenem Querschnitt zusammengesetzten Rohr zeigten, daß die Verschiebung viel größer ist bei kleinerem Querschnitt; ebenso nahm dieselbe bedeutend zu, als der Querschnitt durch Einschieben eines dünnen Glasstäbchens verengert wurde.

Die Größe der Verschiebung war übrigens in hohem Grade von der Reinheit der Röhre und des Wassers abhängig; sie nahm mit der Zeit ab, während die Leitfähigkeit des Wassers durch Auflösung des Glases wuchs. Ebenso bewirkte Vermehrung der Leitfähigkeit durch Zusatz von Säuren oder Salzen eine Abnahme der Verschiebung (in roher Annäherung umgekehrt proportional der Leitfähigkeit). Dagegen war dieselbe für Alkohol größer als für Wasser.

§ 5. Steighöhe in Kapillaren. Ein Faktor, welcher bei diesen Versuchen komplizierend mitwirkt, ist die zeitliche Veränderung der Verschiebung und ein gewisser Einfluß der Dauer der Entladung. Unabhängig hiervon sind die mit Benutzung konstanter galvanischer Ketten angestellten Versuche, welche genauere, in einigen Einzelheiten etwas abweichende Resultate lieferten.

253

Sie lassen sich dahin zusammenfassen, daß die dem elektrosmotischen Druck entsprechende Steighöhe proportional ist der angewendeten elektromotorischen Kraft, ohne Rücksicht auf die Länge der Flüssigkeitssäule, und umgekehrt proportional dem Querschnitt der stromdurchflossenen Röhre. In der nachfolgenden Tabelle, in welcher L die wirksame Röhrenlänge, r den Röhrenradius (beides in mm), φ den Neigungswinkel, n die Anzahl der benutzten Grove-Elemente, Δh die Verschiebung in Skalenteilen bezeichnet, gibt sich dieses Gesetz in der angenäherten Konstanz des Ausdruckes:

$$b = 0{,}0437 \cdot \frac{r^2}{n} \Delta h \sin \varphi \tag{3}$$

zu erkennen, welcher die Niveaudifferenz bedeutet, die ein Grove-Element (= 1,91 Volt) in einer Röhre von 1 mm Radius hervorrufen würde.

petit

L	$2r$	φ	n	Δh	$b \cdot 10^4$
96	0,376	9° 6,5′	81	20,15	0,607
96	0,376	8° 52,8′	78	19,51	0,595
96	0,376	8° 49,7′	78	18,07	0,555
100	0,897	4° 26,5′	78	7,33	0,640
100	0,897	5° 14′	78	5,85	0,601
100	0,897	5° 26,5′	80	5,87	0,597
305	1,775	8° 49,7′	78	0,94	0,644
230	1,885	2° 38,5′	78	2,38	0,549
230	1,990	2° 38,5′	78	2,31	0,590

Somit betrug die Konstante b im Mittel für Wasser in Glasröhren $b = 0{,}0000597$, für eine innen mit Schellack überzogene Röhre $b = 0{,}0000792$, für eine innen versilberte Röhre $b = 0{,}0000545$ bis $0{,}0000384$. Bei Säurezusatz nimmt die Steighöhe ab, jedoch in viel geringerem Grade als bei den im § 4 erwähnten Versuchen; wenn die Leitfähigkeit des Wassers durch Auflösung des Glases auf das 20fache gestiegen war, blieb die Steighöhe wenig verändert. Für absoluten Alkohol in Glasröhren war $b = 0{,}0000341$; derselbe wurde ebenfalls im Sinne des positiven Stromes übergeführt; eine gewisse stark verunreinigte Sorte Alkohol zeigte jedoch Überführung im entgegengesetzten Sinne, die oben dargelegten Gesetzmäßigkeiten blieben aber auch für diese Flüssigkeit gültig.

254

Ebenso zeigte auch Terpentinöl in Glasröhren, wie auch in solchen, welche mit Schellack überzogen waren, negative Überführung, dagegen positive in einer mit

Schwefel ausgekleideten Röhre. Schwefelkohlenstoff wurde meist positiv, in einer bestimmten Sorte von Glas negativ übergeführt, bei Quecksilber war selbst in den engsten Röhren keine Bewegung zu konstatieren, ebenso zeigten Äther, Steinöl, Knochenöl keine bestimmt definierbare Wirkung.

Später wurde ein Teil der Versuche Quinckes von Tereschin[1]) mittels eines ganz ähnlichen Apparates mit größerer Präzision wiederholt, und es wurde abermals die Unabhängigkeit der Größe b von der Röhrenlänge und von der Potentialdifferenz konstatiert. Dabei ergaben sich für eine Flintglasröhre nachfolgende Werte (bezogen auf Grove-Elemente): Wasser $b = 0{,}0_4 535$; Methylalkohol $b = 0{,}0_4 244$; Äthylalkohol $b = 0{,}0_4 165$. Weitere Versuche siehe § 46.

II. Kataphorese.

§ 6. Transport suspendierter Teilchen. Die zweite Kategorie der hierher gehörigen Erscheinungen, die Überführung fester, in einer Flüssigkeit suspendierter Teilchen infolge Durchganges des elektrischen Stromes, ist ebenfalls von Reuss l. c., und zwar an Tonteilchen in Wasser entdeckt worden. Ähnliche Beobachtungen machten später Faraday an Gewebefasern, ferner mit Benutzung des Mikroskops Heidenhain an Chlorophyllkörnern, E. du Bois Reymond an Stärkekörnchen, Jürgensen an Carmin, Stärkekörnchen usw.[2])

Genauere Untersuchungen hat Quincke angestellt, indem er in den Überführungsapparat (l. c. § 5) Wasser mit suspendierten Stärkekörnchen brachte, das Rohr mit Wachs verschloß und Ströme von Elektrisiermaschinen, galvanischen Ketten oder Entladungen von Leydener-Flaschen hindurchleitete. Dabei konstatierte Quincke eine zweifache Bewegungsart der Teilchen, indem die in der Mitte befindlichen in der Richtung zur Anode, die der Röhrenwand nahen in der Richtung zur Kathode hin wanderten. Er erklärte dies ganz richtig als Superposition der Eigenbewegung der Teilchen und der elektrosmotischen Strömungen im Innern der Flüssigkeit, welche die angegebene Richtung haben müssen. Bei stärkeren Strömen wanderten alle Teilchen gegen die Anode zu.

Ebenso wie Stärkekörner verhielten sich in Wasser sämtliche anderen untersuchten Substanzen: Pt, Au, Cu, Fe, Graphit, Quarz, Feldspat, Braunstein, Asbest, Schmirgel, gebrannter Ton, Porzellanerde, Schwefel, Seide, Baumwolle, Lycopodium, Carmin, Papier, Federkiel, Elfenbein, Tröpfchen von Terpentinöl, Schwefelkohlenstoff, Bläschen von Luft, CO_2, O_2, H_2, C_2H_4. Wurden dieselben jedoch in Terpentinöl suspendiert untersucht, so zeigte nur Schwefel anodische Wanderungsrichtung, während die übrigen untersuchten Stoffe sich gegen die Kathode zu bewegten.

Quantitative Messungen wurden mit Hilfe eines Okularmikrometers und eines Chronometers an einem nahe der Röhrenachse in einer 1,89 mm weiten Kapillare befindlichen Lycopodiumteilchen in Wasser angestellt; dieselben ergaben Proportionalität der Geschwindigkeit mit der Stromintensität (unabhängig von der Länge der Flüssigkeitssäule und der angewendeten elektromotorischen Kraft). Dies illustriert die nachstehende Beobachtungsreihe, in welcher T die zum Durchlaufen von fünf Skalenteilen erforderliche Zeit angibt, falls durch n Grovesche Elemente innerhalb der Röhre von der Länge L ein Strom J erzeugt wird.

L	n	J	T	$JT \cdot 10^{-2}$
460	32	40,4	53,3	21,6
230	32	99,8	23,5	23,5
460	77	115,7	20,5	23,8
230	77	298,1	8,2	24,5

[1]) S. Tereschin, Wied. Ann. 32. 333. 1887.

[2]) M. Faraday, Exp. Res. Nr. 1562. 1838 — E. Heidenhain u. Jürgensen, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1860. p. 573. — E. du Bois-Reymond, Berl. Ber. 1860. p. 895.

Das Produkt JT ist also merklich konstant. Bei Anwendung der Entladungen von Leydener Flaschen war der von den Teilchen zurückgelegte Weg proportional der durchgeleiteten Elektrizitätsmenge, unabhängig von der Länge der Flüssigkeitssäule.[1])

256

III. Strömungsströme.

§ 7. Diaphragmenströme. Gehen wir nun zu der inversen Erscheinung über, welche auf der Erregung von Potentialdifferenzen und damit von „Strömungsströmen" infolge Strömens einer Flüssigkeit entlang fester Wände beruht und insbesondere beim Durchfluß durch enge Kanäle (Diaphragmen oder Kapillarröhren) zum Vorschein kommt.

Diese Erscheinung hat Quincke[2]) entdeckt. Er verwendete Tonplatten, welche zwischen eben abgeschliffenen Glasröhren eingekittet waren, oder auch Diaphragmen, welche aus verschiedenen in Glasröhren fest eingestampften Pulvern bestanden, und konstatierte, daß zwischen Platinelektroden, zu beiden Seiten derselben, eine galvanometrisch meßbare Potentialdifferenz entstand, sobald Wasser durch das Diaphragma hindurchgepreßt wurde. Die Richtung des elektrischen Stromes stimmte mit der Strömungsrichtung des Wassers überein (so daß also die Anode sich unter niederem, die Kathode unter höherem Druck befand). Als Materialien zur Herstellung der Diaphragmen wurden verwendet: Seidenzeug, Leinwand, Elfenbeinspäne, Glaspulver, Sand, Holzspäne, Schwefel, gebrannter Ton, Talk, Graphit, Bunsensche Kohle, Platinschwamm, Eisenfeile.

Bei Veränderung des hydrostatischen Druckes ergab sich Proportionalität der elektromotorischen Kraft (und der durchgeflossenen Wassermenge) mit dem wirksamen Drucke. Anwendung zweier verschieden dicker Tonplatten (1,025 mm und 4,682 mm Dicke), sowie Veränderung der freien Oberfläche der Tondiaphragmen zeigte weiter, daß diese Umstände die Größe der elektromotorischen Kraft nicht beeinflussen. Es ist somit die der Druckdifferenz einer Atmosphäre entsprechende elektromotorische Kraft eine von der Bauart des Diaphragmas ganz unabhängige Konstante, welche nur von der Substanz desselben und von der Natur der Flüssigkeit abhängt. Dieselbe würde den Messungen von Quincke zufolge betragen für reines Wasser und:

petit

Schwefel	Quarzsand	Schellackpulver	Seide	Gebr. Ton	Asbest	Porzellan	Elfenbein	Tierische Blase
10,9	6,9	3,7	1,3	0,40	0,25	0,22	0,034	0,017 Volt

257

Die Zahlen können übrigens nur zu beiläufiger Orientierung dienen, da die Werte in hohem Grade von der Reinheit des Wassers abhängen. Zusatz von Salz oder Säure vermindert die Wirkung, Zusatz von Alkohol vermehrt dieselbe.

§ 8. Strömungsströme in Kapillaren. Daß analoge Strömungsströme in gläsernen Kapillaren beim Durchpressen von Wasser auftreten, ist zuerst von Zöllner[3]) nachgewiesen worden. Seine Messungen, wie auch diejenigen von Edlund[4]) dürften

[1]) Manche Autoren sehen auch die von verschiedenen Beobachtern untersuchten, zur Darstellung elektrischer Kraftlinien verwendbaren Figuren, welche in Suspensionen verschiedener Pulver in Terpentinöl u. dergl. zwischen eingetauchten Elektroden entstehen, als eine mit der Kataphorese zusammenhängende Erscheinung an. Hierbei können wohl auch elektrostatische Kräfte (infolge Verschiedenheit der Dielektrizitätskonstanten) in Frage kommen. Eine andere Erklärungsweise, experimentelle Details sowie Literaturzusammenstellung siehe M. Seddig, Ann. d. Phys. **11.** 815. 1903; Dissert. Marburg 1902.

[2]) G. Quincke, Pogg. Ann. **107.** 1. 1859; **110.** 38. 1860.

[3]) F. Zöllner, Pogg. Ann. **148.** 640. 1873.

[4]) E. Edlund, Pogg. Ann. **156.** 251. 1875; Wied. Ann. **1.** 184. 1877; **3.** 489. 1878; **8.** 127. 1879; **9.** 95. 1880 — Siehe auch die Kritik seitens Dorn, l. c. § 26.

jedoch von der Polarisation erheblich beeinflußt sein. Frei von diesem Übelstande sind die Messungen, welche HAGA[1]) und CLARK[2]) mit Hilfe des Quadrantenelektrometers ausführten.

HAGA benutzte enge Kapillaren unter Drucken, für welche das POISEUILLEsche Durchflußgesetz gültig war; dabei ergab sich die Potentialdifferenz E (in willkürlichem Maß: 1 Einheit = 0,017 Volt) proportional dem Druck P (in Millimeter Hg) und unabhängig von der Länge der Röhre L, wie das beispielsweise folgende Versuchsreihe an einer Röhre von 0,348 mm Radius zeigt:

L	402 mm			252 mm	
P	156,5	84,0	120,0	77,6	146,9
E	40,3	16,5	29,1	19,4	36,5
$\frac{100\,E}{P}$	25,7	24,5	24,3	25,0	24,4

Die Werte des Verhältnisses E/P waren jedoch bei verschiedenen Röhren verschieden, (ohne daß übrigens eine Abhängigkeit von der Röhrenweite klar hervorgetreten wäre). So betrugen sie im Mittel für die untersuchten Röhren, welche Radien r (in Millimeter) besaßen:

r	0,152	0,327	0,335	0,348
E/P	39,4	45,3	43,8	24,8

Die Versuche von CLARK waren mit teilweise weiteren Röhren und mit erheblich größerem Druck, nämlich dem 1,69 Atm. betragenden Wasserleitungsdruck, angestellt. Die nachstehende Tabelle enthält die hierbei enthaltenen Werte für E (in DANIELLS), nebst dem Radius, bzw. im Falle elliptischen Querschnittes, der Halbachsen desselben (in mm), Länge L und pro Minute durchströmender Wassermenge Q (in cm³):

r	L	Q	E
0,069 } 0,149 }	308	1,31	1,71
0,148	226	5,0	1,57
0,121 } 0,218 }	215	16,7	1,68
0,346	112	199	1,46
0,398	142	155	1,18
0,522	204	490	1,45
0,706	225	995	1,07
3,83	335	24147	0,21

In allen diesen Versuchen ist es übrigens sehr schwierig, konstante Werte zu erzielen, da unmerkliche Verunreinigungen des Wassers oder der Röhren große Unterschiede bedingen und auch mit der Zeit, wohl infolge Auflösung des Glases, eine Abnahme der Wirkung eintritt. Wurde die Glasröhre innen mit Schellack oder Fett bedeckt, so ergaben sich höhere Werte, bei Versilberung dagegen geringere. Weitere Versuche über Strömungsströme § 26, 30, 33, 53.

[1]) H. HAGA, Wied. Ann. **2**. 326. 1877; **5**. 287. 1878.
[2]) J. W. CLARK, Wied. Ann. **2**. 335. 1877.

B. Doppelschicht-Theorie. Formale Gesetze der elektrosmotischen Erscheinungen.

I. Helmholtz' Berechnung für Kapillarröhren.

§ 9. Allgemeine Begründung der Doppelschicht-Theorie. Wiedemann war anfänglich der Ansicht, daß die elektrische Endosmose eine direkte Wirkung des Stromes sei, indem derselbe mechanische, an den Volumelementen der Flüssigkeit angreifende Kräfte hervorbringt, aus deren Zusammensetzung der elektrosmotische Druck resultiert. Diese Auffassung ward infolge der Erkenntnis des spezifischen Einflusses des Materials der festen, die Flüssigkeit begrenzenden Wände unhaltbar; auch würde sie bei konstanter elektromotorischer Kraft Unabhängigkeit des elektrosmotischen Druckes vom Querschnitt bedingen, während derselbe nach Quincke dem Querschnitt verkehrt proportional ist.

259

Quincke[1]) erkannte die Elektrosmose und die Strömungsströme als zusammengehörige inverse Phänomene und gab eine Erklärung derselben auf Grund der Annahme einer elektrischen Doppelschichte an der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und fester Wand. Nimmt man nämlich an, daß die positive Belegung der Doppelschichte in die Flüssigkeit falle, die negative in den festen Körper, so wird die positiv geladene Flüssigkeitsschichte bei Existenz eines tangentialen Potentialgefälles längs der Oberfläche in der Richtung desselben verschoben werden und wird so die übrige Flüssigkeit infolge der inneren Reibung nach sich ziehen. Der elektrische Strom übt demnach keine Volumwirkung aus, sondern er zieht die Flüssigkeit gleichsam an der Haut mit, und zwar gegen die Kathode oder Anode hin, je nachdem der in die Flüssigkeit fallende Teil der Doppelschichte positives oder negatives Zeichen hat.

Umgekehrt muß eine Flüssigkeitsströmung offenbar auch eine Elektrizitätsströmung hervorrufen, indem sie eine Verschiebung der den Wänden anliegenden geladenen Schichten mit sich bringt.

§ 10. Mathematische Formulierung für Kapillarröhren durch Helmholtz. Diese Theorie wurde von Helmholtz[2]) in eine präzise mathematische Form gebracht, wodurch eine quantitative Vergleichung mit den Versuchsresultaten ermöglicht wurde. Helmholtzs Theorie bezieht sich auf zylindrische Röhren, welche von einem ihrer Länge nach gerichteten elektrischen Strome durchflossen werden.

Dabei setzt die Berechnungsweise von Helmholtz voraus:

1. daß die hydrodynamischen Gleichungen für zähe Flüssigkeiten nicht nur für das Innere der Flüssigkeit, sondern auch für den ganzen Bereich der Doppelschichte giltig sind,

2. daß nur eine lamellare Flüssigkeitsbewegung stattfinden kann, d. h. daß die Strömungslinien parallel der Achse seien, was bekanntlich unter gewissen, von Reynolds[3]) präzisierten Bedingungen in Kapillarröhren der Fall ist.

3. daß sich das äußere Potentialgefälle über das Potentialgefälle der Doppelschicht einfach superponiert.

260

Bezeichnen wir mit φ das elektrische Potential im Falle, daß sich die Flüssigkeit in Ruhe befindet; dann ist φ im ganzen Inneren derselben konstant, gleich φ_i, und nur im Bereich der Doppelschichte erfährt es eine rapide Änderung, so daß der Wert φ_a an der festen Wand von φ_i merklich verschieden ist. Das äußere, den konstanten elektrischen Strom in der Richtung der X-Achse hervorrufende Potential

260

[1]) G. Quincke, Pogg. Ann. **113**. 583. 1861.
[2]) H. v. Helmholtz, Wied. Ann. **7**. 337. 1879; Ges. Abh. I. p. 855. 1882; in letzterer Redaktion sind einige Versehen korrigiert.
[3]) O. Reynolds, Phil. Trans. **174**. 935. 1883.

wird gleich $-i\sigma x$, wenn i die Stromdichte $= J/Q$ und σ den spezifischen Widerstand bedeutet; somit erhalten wir das gesamte Potential U durch Superposition:

$$U = \varphi - i\sigma x \tag{4}$$

Die hydrodynamischen Grundgleichungen nehmen in unserem Falle die Form an:

$$X - \frac{\partial p}{\partial x} = -\eta\left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) = -\eta\, \Delta^2 u \tag{5}$$

wenn wir nur eine lamellare Strömung in der Richtung der X-Achse zulassen. Dabei bezeichnet η den Zähigkeitskoeffizienten und X die infolge des äußeren Potentialgefälles auf elektrisch geladene Flüssigkeitsteilchen wirkende Kraft; dieselbe ist gleich dem Produkt aus deren elektrischer Volumdichte ε und dem Potentialgefälle, somit $X = \varepsilon i \sigma$.

Unter Benutzung der POISSONschen Gleichung:

$$\Delta^2 U = -4\pi\varepsilon \tag{6}$$

und unter Berücksichtigung der Relation $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{P}{L}$, wo P die an den Enden der Röhre L wirkende Druckdifferenz bezeichnet, erhält man somit die Grundgleichung:

$$\frac{i\sigma}{4\pi}\Delta^2 U + \frac{P}{L} = \eta\,\Delta^2 u \tag{7}$$

Hierzu kommt noch die Grenzbedingung für die Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Wand. HELMHOLTZ läßt der Allgemeinheit wegen die Möglichkeit eines Gleitens der Flüssigkeit längs der festen Wand zu und setzt die Geschwindigkeit an der Grenze

$$u = \zeta \frac{\partial u}{\partial N} \tag{8}$$

wo ζ den Gleitungskoeffizienten, N die nach innen gezogene Normale bedeutet; in den Anwendungen nimmt er jedoch an, daß dieser Koeffizient gleich Null ist, das heißt, daß die äußerste Flüssigkeitsschichte an der festen Wand haftet, was bei den gewöhnlichen Strömungserscheinungen von Flüssigkeiten in Kapillarröhren heute als sicher erwiesene Tatsache gilt. Wenn wir dies zur Vereinfachung von vornherein einführen, so gestaltet sich die weitere Rechnung folgendermaßen.

Die Geschwindigkeit u läßt sich in zwei Teile zerlegen $u = u_0 + u_1$, so daß:

$$\frac{P}{L} = \eta\,\Delta^2 u_0$$

$$\frac{i\sigma}{4\pi}\Delta^2 U = \eta\,\Delta^2 u_1$$

wobei an der Wand die Grenzbedingung gilt: $\bar{u}_1 = \bar{u}_2 = 0$.

Die Bewegung u_0 ist somit die gewöhnliche, in einer zähen Flüssigkeit unter dem Einfluß eines hydrostatischen Druckgefälles P/L vor sich gehende Flüssigkeitsströmung, welche dem POISSEUILLEschen Gesetz gehorcht. Die Bewegung u_1 ist die durch das elektrische Potentialgefälle allein hervorgebrachte Strömung; beide superponieren sich einfach.

Aus der letzten Gleichung folgt:

$$u_1 = \frac{i\sigma}{4\pi\eta} U + F(x) + C$$

wo F eine beliebige Funktion von x bedeutet. Es wäre von vornherein allerdings möglich, noch eine beliebige Lösung der Differentialgleichung

$$\Delta^2 u_1 = \left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right) u_1 = 0$$

hinzuzufügen; da aber u_1 an der Wand gleich Null ist, das Potential U daselbst (bei gegebenem x) einen von y und z unabhängigen Wert hat, so folgt aus einem bekannten Satz der Potentialtheorie, daß jene Lösung eine Konstante sein muß; sie ist also schon in C mit einbegriffen. Nun muß aber die Geschwindigkeit u_1 gemäß Voraussetzung (2) von x unabhängig sein; hierdurch bestimmt sich die Funktion

$$F(x) = \frac{i^2 \sigma^2}{4 \pi \eta} x$$

262

und es bleibt:

$$u_1 = \frac{i \sigma}{4 \pi \eta} \varphi + C \quad .$$

Bezeichnen wir mit φ_a wie früher den Wert des Potentials an der Wandoberfläche, so bestimmt sich die Konstante C aus der Bedingung, daß die Flüssigkeit an der Wand unbeweglich haftet:

$$C = - \frac{i \sigma}{4 \pi \eta} \varphi_a \quad .$$

Somit erhalten wir mit Rücksicht auf das in Voraussetzung (3) Gesagte die allgemein für das Innere von Kapillarröhren giltige Formel:

$$u = u_0 + \frac{i \sigma}{4 \pi \eta} (\varphi_i - \varphi_a) \tag{9}$$

← Bei Berücksichtigung der Gleitung ergibt sich nach Helmholtz in analoger Weise:

$$u = u_0 + \frac{i \sigma}{4 \pi \eta} \left(\varphi_i - \varphi_a + \zeta \frac{\partial \varphi}{\partial N}\right) \tag{10}$$

Diese Formeln, im Verein mit den bekannten Formeln für die Bewegung u_0 einer zähen Flüssigkeit in Kapillarröhren, stellen die Helmholtzsche Theorie der Elektrosmose dar.

§ 11. Berücksichtigung der Dielektrizitätskonstante. Bevor wir jedoch mit Helmholtz zur Vergleichung derselben mit dem Beobachtungsmaterial übergehen, bemerken wir vor allem, daß in dieser Ableitung, wie auch in fast allen späteren hierauf gestützten Arbeiten, ein Versehen zu korrigieren ist, welches erst von Pellat[1]) bemerkt worden ist und welches, wie wir sehen werden, erhebliche Folgen nach sich gezogen hat. Hat nämlich die Flüssigkeit eine von Eins verschiedene Dielektrizitätskonstante K, so nimmt bekanntlich die Poissonsche Gleichung (6) die Form an:

1 Δ^2.

$$K \Delta U = -4 \pi \varepsilon \; .$$

← Allerdings könnte es zweifelhaft erscheinen, ob K in den Grenzschichten noch als konstant und gleich dem im Innern gültigen Wert angesehen werden darf; aber wenn man mit Helmholtz den Zähigkeitskoeffizienten η als konstant ansieht, muß man dies wohl auch für K gelten lassen. Die Rechnung bleibt sonst unverändert, nur erhält man schließlich an Stelle von (9) die Schlußformel:

263

$$u = u_0 + \frac{i \sigma K}{4 \pi \eta} (\varphi_i - \varphi_a) \tag{13}$$

Im folgenden werden wir sämtliche Formeln schon in dieser berichtigten Gestalt, mit Einführung des Faktors K gebrauchen und dementsprechend die von verschiedenen Autoren angegebenen Werte von $(\varphi_i - \varphi_a)$ korrigieren.

§ 12. Anwendung auf Elektrosmose. Aus dieser Formel folgen die Erscheinungen des elektrosmotischen Flüssigkeitstransports, wenn der hydrostatische Überdruck P

[1]) Siehe J. Perrin, Journ. Chim. phys. 2. 607. 1904.

gleich Null gesetzt wird. Da in diesem Falle u_0 verschwindet, folgt für die gesamte pro Zeiteinheit übergehende Flüssigkeitsmenge:

$$M_1 = \frac{J\sigma}{\eta} \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi} = \frac{E R^2 \pi}{\eta L} \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi} \tag{14}$$

wo E die Potentialdifferenz an den Enden der Röhre, R den Radius derselben bezeichnet.

Somit ist die in Kapillaren von gegebener Substanz übergeführte Menge einer gewissen Flüssigkeit der Gesamtstromintensität J proportional, ohne Rücksicht auf Weite und Länge der Röhre. HELMHOLTZ zieht die WIEDEMANNschen Messungen an Tondiaphragmen als Bestätigung dieses Satzes heran und berechnet hieraus die Werte $(\varphi_i - \varphi_a)$, doch liegen hier die Versuchsbedingungen wohl etwas anders, wie wir im § 16 noch näher ausführen werden.

§ 13. Anwendung auf Quinckes Fortführungsversuche. Die Formel (14) läßt sich nach HELMHOLTZ auf die Versuche QUINCKEs über Fortführung von Flüssigkeiten durch Entladung von Leydener Flaschen anwenden. Integriert man sie nämlich nach der Zeit, so erhält man (unter Annahme, daß die Rückströmung während der Entladungsdauer sich nicht bemerkbar macht) das durch eine gegebene Elektrizitätsmenge $e = \int J\,dt$ übergeführte Flüssigkeitsvolum:

$$\int M\,dt = \frac{e\sigma}{\eta} \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi}. \tag{15}$$

Bei den Versuchen QUINCKEs waren aber die Elektroden nicht an den Enden der Überführungsröhre befestigt, so daß die elektrische Kraft nur auf einem Teile der Länge wirksam war. Bezeichnet man mit W_{23} den Zähigkeitswiderstand zwischen den Elektroden (d. h., daß der hydrostatische Überdruck P ein Volum $M = P/W$ überführt), mit W_{14} den Widerstand der ganzen Überführungs- und Steigröhre, so gilt in diesem Falle offenbar:

264

$$\int M\,dt = \frac{W_{23}}{W_{14}} \frac{e\sigma K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi\eta}. \tag{16}$$

In der Tat fand QUINCKE Proportionalität der Verschiebung mit der Ladung e, mit der Länge des Stückes zwischen den Elektroden, Abnahme derselben mit Vermehrung der Leitfähigkeit. Die Versuche mit Röhren von verschiedener Weite geben dagegen nur qualitative, aber nicht quantitative Übereinstimmung mit dieser Formel, welche (bei konstantem W_{14}, aber veränderlichem W_{23}) umgekehrte Proportionalität mit der vierten Potenz des Radius erfordern würden. Dies kann von Ungleichartigkeit der inneren Oberfläche herrühren, vielleicht aber auch von einem anderen Umstande, dessen nähere Untersuchung noch der Mühe wert wäre.

Die obige Ableitung gilt nämlich nur in dem Falle, daß der Stromdurchgang so langsam erfolgt, daß man den Zustand als stationär betrachten kann. Geht die Entladung so rasch vor sich, daß die inneren Teile der Flüssigkeit nicht der Bewegung der Wandschichten folgen können, so wird die Überführung offenbar geringer werden, und dieser Umstand muß sich in weiten Röhren eher bemerklich machen als in engen. Tatsächlich galten die erwähnten Gesetzmäßigkeiten nur, wenn QUINCKE die Entladung durch eine eingeschaltete Wassersäule hinreichend verzögerte.

§ 14. Anwendung auf Quinckes Steighöhenversuche. Wird die Flüssigkeitsströmung durch einen entgegenwirkenden hydrostatischen Druck P kompensiert, welcher für sich allein nach POISEUILLEs Gesetz ein Volum

$$M_0 = \frac{P}{L} \frac{R^4 \pi}{8\eta}$$

überführen würde, so bestimmt sich derselbe aus der Bedingung $M_0 + M = 0$ also folgt der Wert des elektrosmotischen Druckes:

$$P = \frac{2EK(\varphi_i - \varphi_a)}{R^2 \pi} \tag{17}$$

Auch berechnen wir leicht, daß in diesem Fall die resultierende Strömung von der Röhrenwand bis zur Entfernung $\frac{R}{\sqrt{2}}$ von der Röhrenachse im normalen Sinne (in Wasser gegen die Kathode zu), im innern Teile dagegen umgekehrt gerichtet ist.

Eine Bestätigung der obigen Formeln ergeben Quinckes im § 5 erwähnte, an Wasser in Kapillaren verschiedener Weite angestellte Messungen (Formel (3)), denen zufolge der Druck P dem Querschnitt umgekehrt proportional ist. Aus den Zahlenwerten jener Versuche folgt, unter Annahme $K = 81$, für den Potentialsprung Wasser-Glas: $\varphi_i - \varphi_a = 0{,}052$ Volt.[1])

Im weiteren Verlaufe vergleicht Helmholtz seine Theorie auch mit jenen Versuchen von Quincke, in welchen durch Einlegen eines zylindrischen Glasfadens in die fast horizontal gestellte Röhre ein asymmetrisch ringförmiger Querschnitt hergestellt war. Er berechnet die Lösung der Differentialgleichung $\Delta^2 u_0$, welche den derart modifizierten Randbedingungen entspricht, und findet schließlich für kleine Werte der Differenz $R - \varrho$ (wo ϱ den Radius der eingelegten Röhre bedeutet), im Falle, daß der Glasfaden an der Röhre anliegt:[2])

$$P = \frac{6EK(\varphi_i - \varphi_a)}{5\pi(R - \varrho)^2}, \tag{18}$$

während im Falle koaxialer Lage sich ein $^5/_2$ mal so großer Wert ergeben würde. Er berechnet nun die Steighöhe Δh_1 aus den von Quincke bei leerer Röhre angegebenen Steighöhen Δh_0 und den Werten von R und ϱ und vergleicht diese Resultate mit den beobachteten Werten von Δh_1:

$2R$	2ϱ	Δh_0	Δh_1 beob.	Δh_1 ber.
0,799	0,341	15	23,7	30,1
0,987	0,341	5,85	10,0	10,2
0,897	0,651	5,49	57,4	44,7
0,897	0,727	5,52	70,4	92,8

Die Übereinstimmung ist für den zweiten Versuch sehr gut, aber für kleinere $(R - \varrho)$ recht mangelhaft. Angesichts des großen Einflusses kleiner Ausbiegungen des Fadens und Ungleichförmigkeiten des Querschnittes ist bei diesen ziemlich rohen Versuchen wohl auch keine bessere Übereinstimmung zu erwarten.

§ 15. Anwendung auf Strömungsströme. Eine weitere quantitative Vergleichung seiner Theorie führte Helmholtz hinsichtlich der Strömungsströme aus. Diese stellen, wie früher erwähnt, gleichsam einen Konvektionsstrom dar, in dem die bewegte Flüssigkeit auch die der Wand benachbarten, geladenen Schichten teilweise mitführt.

Da die Flüssigkeit an der Wand haftet, so ist die Geschwindigkeit in der Entfernung N von derselben: $\frac{\partial u}{\partial N} N$, und die pro Zeiteinheit durch den ganzen Querschnitt der Röhre hindurchgeführte Ladung wird:

$$J = \iint \varepsilon \frac{\partial u}{\partial N} N \, dN \, ds \quad . \tag{19}$$

---

[1]) Während Helmholtz infolge Übersehens des Faktors K den Wert 3,9346 Daniell erhält.

[2]) Der Faktor $(\varphi_i - \varphi_a)$ ist bei Helmholtz aus Versehen weggefallen.

Für die Elektrizitätsdichte ε gibt die POISSONsche Gleichung angenähert:

$$\varepsilon = -\frac{K}{4\pi}\frac{\partial^2 \varphi}{\partial N^2},$$

somit erhält man durch partielle Integration über den Bereich der geladenen Doppelschichte bis zu dem Punkte im Inneren i, wo das Potential konstant wird:

$$\int \varepsilon N d N = \frac{K}{4\pi}(\varphi_i - \varphi_a) .$$

Andererseits ist $\eta \int \frac{\partial u}{\partial N} ds$ gleich der gesamten auf den Querschnitt wirkenden Reibungskraft, welche dem Produkt aus dem hydrostatischen Druckgefälle P/L und dem Querschnitt Q gleich sein muß. Somit resultiert für die Intensität des Konvektionsstromes:

$$J = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi}\frac{PQ}{\eta L}, \tag{20}$$

was im Falle kreisförmiger Röhren laut dem POISEUILLEschen Gesetz auch in der Form:

$$J = 2K(\varphi_i - \varphi_a) u_m \tag{21}$$

geschrieben werden kann, wenn man die mittlere Strömungsgeschwindigkeit mit u_m bezeichnet. Wird der Strömungsstrom J durch eine entgegengeschaltete Potentialdifferenz E kompensiert, so muß dieselbe offenbar betragen:

$$E = \frac{JL\sigma}{Q} = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi}\frac{P\sigma}{\eta} . \tag{22}$$

Also sollte die elektromotorische Kraft des Strömungsstromes dem angewendeten hydrostatischen Überdruck proportional sein, ohne von Länge und Weite der Kapillare abzuhängen. Die in § 8 besprochenen Versuche von HAGA und CLARK haben dieses theoretische Resultat nur zum Teile bestätigt, indem die Unabhängigkeit von der Röhrenweite nicht klar hervortrat. Bei den Messungen CLARKS war eine Abnahme der Potentialdifferenzen mit Vergrößerung des Querschnittes unverkennbar. Dies führt jedoch HELMHOLTZ sehr richtig darauf zurück, daß, wie aus den von CLARK angegebenen Durchflußmengen hervorgeht, bei den weiteren Röhren das POISEUILLEsche Gesetz auch nicht annähernd erfüllt war. In denselben hatte also die Flüssigkeitsbewegung einen turbulenten Charakter, während die Berechnung von HELMHOLTZ nur auf langsame, lamellare Strömung anwendbar ist.

Auch die Versuche EDLUNDS konnte HELMHOLTZ aus demselben Grunde nur teilweise zur Verifikation der Formel (21) verwenden.

II. Verallgemeinerung der Helmholtzschen Theorie für Gefäße beliebiger Gestalt. Theorie der Kataphorese.

§ 16. Verallgemeinerung der Theorie durch Smoluchowski. HELMHOLTZ hat auch die Versuche WIEDEMANNS und QUINCKES an Diaphragmen zur Bestätigung seiner Formeln herangezogen, indem er jene Diaphragmen als Systeme von Kapillarröhren auffaßte. Davon kann aber wohl keine Rede sein, daß die Poren eines Tongefäßes tatsächlich geradlinige Kapillaren von konstantem Querschnitt seien, und noch weniger kann dies von den unregelmäßigen Hohlräumen der aus losen Körnern zusammengesetzten Diaphragmen QUINCKES gelten. Hier bedarf also die HELMHOLTZsche Theorie einer Ergänzung, resp. Verallgemeinerung, welche von SMOLUCHOWSKI[1]) gegeben worden ist.

[1]) M. v. SMOLUCHOWSKI, ~~Krak. Anz. 1903. 182.~~ Bull. Int. de l'Acad. d. Sc. de Cracovie, Année 1903. p. 182 [Vol. I, p. 403. Ed.]

268

Die Berechnung von SMOLUCHOWSKI bezieht sich auf ein Gefäß aus isolierendem Material von ganz beliebiger Gestalt. Die Grundannahmen (1) und (3) der HELMHOLTZschen Theorie werden unverändert übernommen und Annahme (2) wird dahin verallgemeinert, daß die Flüssigkeitsbewegung eine „langsame" Strömung sein soll, das heißt, daß in den hydrodynamischen Gleichungen die von der kinetischen Energie herrührenden Glieder $\varrho u \frac{\partial u}{\partial x}$ usw. gegenüber dem Einfluß der Zähigkeit, welchen die Glieder $\eta \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ usw. repräsentieren, zu vernachlässigen sind. Diese Voraussetzung bedingt (infolge der linearen Form der Gleichungen) Proportionalität der Strömungsgeschwindigkeit mit dem wirksamen hydrostatischen Überdruck, was das experimentell kontrollierbare, charakteristische Merkmal der „langsamen" Strömung zäher Flüssigkeiten bildet.

Ohne auf die Einzelheiten der mathematischen Analyse einzugehen, seien nur die Schlußresultate verzeichnet. Für den Fall der Elektrosmose folgt, daß die Strömungslinien der Flüssigkeit mit den elektrischen Stromlinien identisch sein müssen (mit Ausnahme der unmittelbaren Umgebung der Elektroden), so zwar daß die Geschwindigkeit an jedem Punkte gleich wird der daselbst herrschenden elektrischen Stromstärke, multipliziert mit dem Faktor $\frac{K(\varphi_i - \varphi_a)\,\sigma}{4\pi\eta}$.

Somit wird das im Ganzen durch den Strom fortgeführte Flüssigkeitsvolum, genau so wie im Falle zylindrischer Kapillarröhren, betragen:

$$M = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi} \frac{J\sigma}{\eta}. \tag{23}$$

Für den elektrosmotischen Druck ergibt sich die allgemeine Formel:

$$P = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi} \frac{J\sigma W}{\eta} \tag{24}$$

Hierin bedeutet W den hydrodynamischen Zähigkeitswiderstand des Gefäßes, das ist die durch die Relation $P = W M$ definierte Größe. Als Spezialfall folgt hieraus für zylindrische Röhren, mit $W = \frac{8\eta L}{R^4 \pi}$ tatsächlich die HELMHOLTZsche Formel (17).

269

Für die elektromotorische Kraft der Strömungsströme erhält man den Wert:

$$E = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi} \frac{P\sigma}{\eta}, \tag{25}$$

welcher mit der zweiten Form von (22) identisch ist.

Wie man sieht, ermöglichen diese Formeln eine einfache und ~~ganz~~ strenge Berechnung von $(\varphi_i - \varphi_a)$ auch aus Versuchen an Diaphragmen, ohne daß man die Größe der Poren derselben zu kennen braucht, falls nur die Größen W usw. experimentell bestimmt sind.

§ 17. **Vergleich mit Beobachtungsresultaten.** Mit diesen allgemeinen Formeln können wir nun die auf Diaphragmen bezüglichen Resultate vergleichen. WIEDEMANNs Satz (§ 2), demzufolge das Verhältnis M/J von der Oberfläche und Dicke der Tonplatte unabhängig ist, wird durch Formel (23) dargestellt. Ebenso stimmt die empirische Formel (1) § 3 mit (24), da ja der Widerstand W der Tonplatte proportional ist mit dem Verhältnis der Dicke zur Oberfläche. Jene Formel scheint auch eine Bestätigung der Abhängigkeit vom Leitungswiderstand σ zu geben, indem für Lösungen verschiedener Konzentration $(\varphi_i - \varphi_a)$ konstant bleiben würde, doch widersprechen dem die genauen Zahlenwerte der Versuche, sowie die ausführlichen Untersuchungen FREUNDs. Man muß also schließen, daß die Potential-

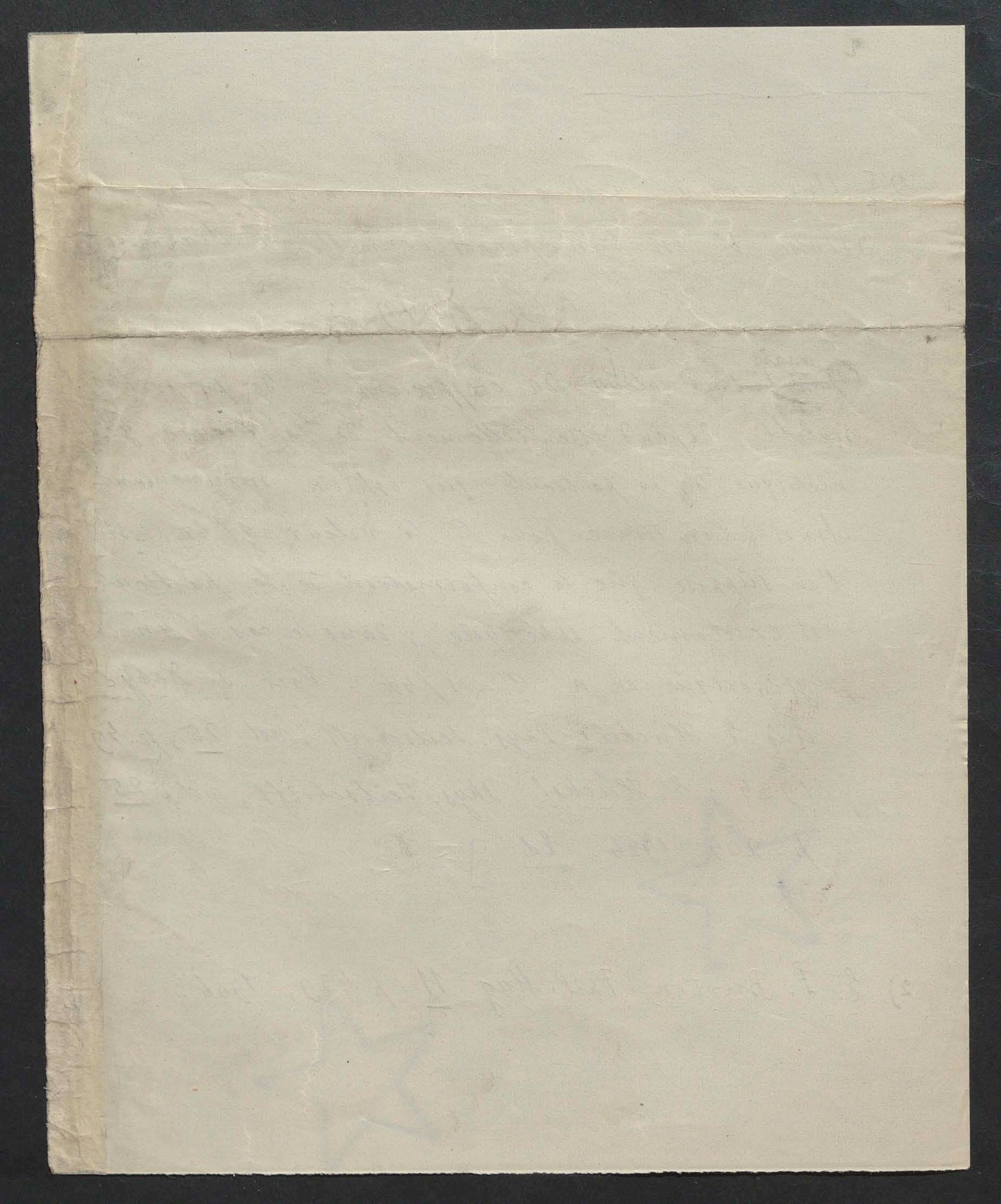
---

1) [Une erreur s'est glissée ici dans le texte. La vitesse V est bien proportionnelle à l'expression

$$K(\varphi_i - \varphi_a)/\eta ;$$

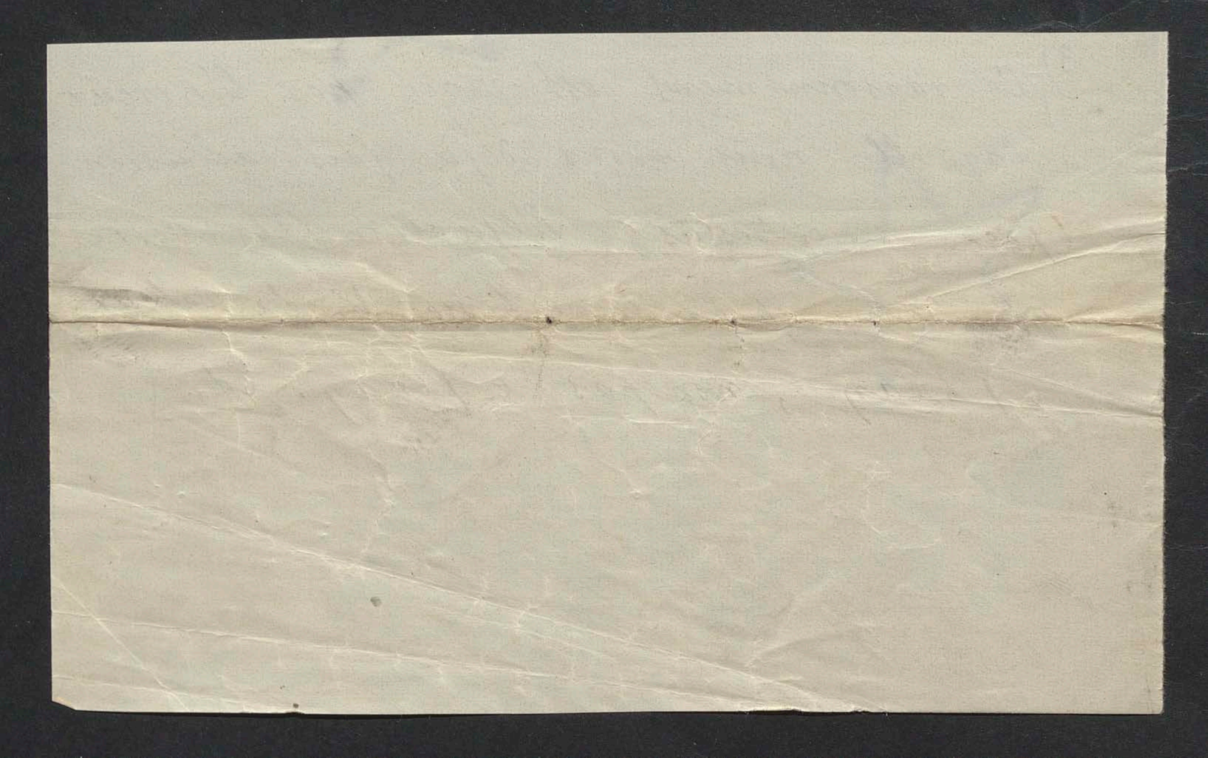
~~cependant~~ mais la valeur du coefficient C de proportionnalité dépend essentiellement de la figure géométrique de la particule qui est en mouvement. Ainsi l'on trouve pour C la valeur $1/6\pi$ si l'on suppose que la conformation de la particule est exactement sphérique ; dans le cas d'un corps cylindrique on a $C = 1/4\pi$. Voir P. Debye und E. Hückel Phys. Zeitschrift, vol. **25**, p. 49, 1924 ; E. Hückel Phys. Zeitschrift, vol. **25**, p. 204. 1924. Ed.]

2) E. F. Burton Phil. Mag. **11**. p. 439, 1906.



180

3) [Ce raisonnement est vicié par l'erreur à laquelle nous avons déjà fait allusion (page ci-dessus). L'équation (26) corrigée donne pour la vitesse V la valeur $e/6\pi a\eta$, non pas $e/4\pi a\eta$. *Ed.*]



differenz $(\varphi_i - \varphi_a)$ von der Natur und Konzentration der Lösung abhängt, was ja von vornherein durchaus wahrscheinlich ist und heute durch später zu besprechende Versuche (Abschnitt C) als unzweifelhaft erwiesen betrachtet werden muß.

Auch was die Strömungsströme anbelangt, wird die Theorie durch die QUINCKEschen Diaphragmenversuche (§ 7) bestätigt, insofern als dieselben Proportionalität von E und P, unabhängig von Größe und Dicke der Diaphragmen, ergeben haben. Leider sind jedoch jene Messungen nicht zur quantitativen Berechnung von $(\varphi_i - \varphi_a)$ verwendbar, da der Leitungswiderstand σ der angewendeten Flüssigkeiten nicht bestimmt wurde.

§ 18. Theorie der Kataphorese suspendierter Teilchen. Die Verallgemeinerung der HELMHOLTZschen Theorie auf Gefäßwände beliebiger Gestalt bot SMOLUCHOWSKI auch das Mittel, die Kataphorese kleiner Teilchen quantitativ zu berechnen. Stellen wir uns eine Kugel aus isolierendem Material in einer unendlich ausgedehnten Flüssigkeit vor, welche in der Richtung der X-Achse von einem elektrischen Strom (mit der Stromdichte i) durchflossen wird.

Die elektrischen Stromlinien verlaufen an der Kugel-Oberfläche in tangentialer Richtung und setzen, falls die Kugel unbeweglich ist, die angrenzenden geladenen Flüssigkeitsschichten in Bewegung; diese ziehen die übrige Flüssigkeit nach sich, so zwar, daß dieselbe dem vorher abgeleiteten Satze gemäß in größerer Entfernung von der Kugel eine gleichförmige Geschwindigkeit $\frac{K(\varphi_i - \varphi_a)\sigma i}{4\pi\eta}$ annimmt.

Ist dagegen die Flüssigkeit unbeweglich, aber die Kugel verschiebbar, so muß sie sich offenbar mit derselben Geschwindigkeit dem Strom entgegen bewegen, und ganz dieselbe Rechnung bleibt auch für einen Körper von ganz beliebiger Gestalt giltig. Im Potentialgefälle Eins werden also derartige Körper ganz unabhängig von ihrer Größe und Gestalt, mit einer „kataphoretischen" Geschwindigkeit:

$$V = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi\eta} \tag{26}$$

in der Richtung gegen die Anode zu wandern.[1] Es gilt hierin das absolute elektrostatische Maß, drückt man also $\varphi_i - \varphi_a$ in Volt aus und bezieht das Potentialgefälle auf Volt/cm als Einheit, so ist noch der Faktor $(1/300)^2$ einzuführen. Handelt es sich z. B. um Glaspartikeln in Wasser, so kann man nach QUINCKEs Versuchen für $(\varphi_i - \varphi_a)$ den Wert 0,05 Volt annehmen und erhält so $V = 0{,}00034$ cm/sec.

§ 19. Vergleich mit Beobachtungen von Quincke, Burton, R. Ellis u. a. QUINCKE beobachtete tatsächlich, daß die Geschwindigkeit von Lycopodiumteilchen der Stromintensität proportional war, und man kann aus seinen Angaben (siehe § 6) den Wert $V = 0{,}00035$ errechnen, doch läßt sich eine eingehende Vergleichung mit der Formel (26) nicht ausführen, da hierin die unbekannte Größe $(\varphi_i - \varphi_a)$ für Lycopodium-Wasser eingeht, und außerdem, da QUINCKE in seinen Messungen den Einfluß der elektrosmotischen Flüssigkeitsströmungen nicht eliminierte.

Ob die Korngröße die Wanderungsgeschwindigkeit beeinflußt, hat QUINCKE nicht eigens untersucht. In diesem Punkte sind dessen Versuche durch neuere Arbeiten wesentlich ergänzt worden, welche an dieser Stelle kurz besprochen werden mögen. So scheint eine Beobachtung von BURTON[2] die Unabhängigkeit der kataphoretischen Geschwindigkeit von der Teilchengröße zu erweisen. Derselbe stellte nach dem BREDIGschen Verfahren drei kolloidale Silber-Suspensionen von verschiedener Teilchengröße her, indem er Bogenentladungen unter Anwendung von verschiedenen Stromstärken zwischen Silberelektroden in Wasser einleitete. Die kataphoretischen Wanderungsgeschwindigkeiten betrugen 19,7, 19,6, 19,3 · 10^{-5} cm/sec,

[2] E. F. BURTON, Phil. Mag. **11**. 439. 1906.

waren also innerhalb der Versuchsfehler gleich. Überdies spricht auch das Bestehen einer scharfen Grenzfläche zwischen Suspension und reiner Flüssigkeit bei der Kataphorese nach Whitney und Blakes Methode (siehe §58) für eine gleiche Wanderungsgeschwindigkeit aller Teilchen.

Cotton und Mouton[1]), sowie Ridsdale Ellis[2]) bemerken zwar bei Anwendung mikroskopischer Beobachtungsmethoden, daß die Geschwindigkeit von der Teilchengröße abhängt, doch scheint sich dies nur auf die in der Nähe der Wand befindlichen Teilchen zu beziehen. Eine solche Erscheinung ist auch nach der Theorie vorauszusehen, denn das homogene Potentialgefälle wird infolge Anwesenheit eines nicht leitenden Teilchens in der Nähe der Wand modifiziert. Also wird auch die kataphoretische Geschwindigkeit von Teilchen, die sich nahe der Wand befinden, eine andere sein als im Inneren der Flüssigkeit, und zwar muß dieser Unterschied von dem Verhältnis der Teilchengröße zur Entfernung von der Wand abhängen. Eine genauere quantitative Untersuchung dieser Verhältnisse ist noch ausständig.

§ 20. Korrektion infolge Strömung des umgebenden Mediums. Überdies übt die Wand noch einen anderen störenden Einfluß aus, den wir schon anläßlich der Quinckeschen Versuche erwähnten. Die derselben anliegende Doppelschichte muß nämlich eine tangentiale Bewegung der äußeren Flüssigkeitsschichte hervorrufen, wie bei gewöhnlicher elektrischer Endosmose, welche im Falle eines geschlossenen Gefäßes mit einem Rückströmen der Flüssigkeit im Innern verbunden sein muß; und diese Strömungen müssen sich über die Eigenbewegung der Teilchen superponieren.[3])

Eingehendere quantitative Untersuchungen hierüber hat Ridsdale Ellis (loc. cit.) angestellt. Dieser Autor hat die Geschwindigkeiten V' von Tröpfchen einer Ölemulsion in verschiedenen Tiefen x innerhalb der 0,6 mm dicken Flüssigkeitsschichte zwischen Objektträger und Deckglas gemessen und hat dabei folgende Werte gefunden:

x	0	0,013	0,027	0,040	0,053	0,062	0,133	0,173	0,213	0,267	0,333	mm
V'	−0,95	−0.66	0,00	+0,55	+0,72	+1,39	+3,00	+4,00	+5,00	+5,40	+5,50	10^{-4} cm/sec.

Ist v die Geschwindigkeit des Wassers, V jene der Teilchen relativ gegen das Wasser, so wird die beobachtete Geschwindigkeit $V' = V + v$; da nun $\int v\,dx = 0$ sein muß, folgert R. Ellis, daß die wahre kataphoretische Geschwindigkeit V gleich ist der mittleren Geschwindigkeit

$$V = \frac{1}{x}\int V'\,dx \quad ,$$

welche sich durch graphische Integration ermitteln läßt. Anstatt dieser mühsamen Operation benutzt aber der Autor in der Folge ein anderes Verfahren, indem er die Geschwindigkeiten V aus den in der Mitte und an der Oberfläche beobachteten Werten von V', welche wir mit $V'(\frac{1}{2})$ und $V'(0)$ bezeichnen, mittels der rein empirischen Formel ableitet:

$$V = 0{\cdot}361\,V'(0) + 0{\cdot}639\,V'(\tfrac{1}{2}) \tag{27}$$

Es ist nun leicht, für diesen Fall nach (13) eine rationelle Formel abzuleiten, wenn man die Gesetze der Strömung zäher Flüssigkeiten zwischen parallelen Wänden heranzieht. Diesen zufolge wird die Geschwindigkeit v gegeben sein durch:

$$v = v_0\left[1 - 6\left\{\frac{x}{d} - \left(\frac{x}{d}\right)^2\right\}\right] \tag{28}$$

[1]) A. Cotton u. H. Mouton, Journ. chim. phys. **4**. 365. 1906; C. R. **138**. 1584. 1904.

[2]) Ridsdale Ellis, Zeitschr. f. phys. Chem. **78**. 321. 1911; siehe § 62.

[3]) Cotton u. Mouton führen (l. c.) einige Beobachtungen an, welche sich mit der hier dargelegten Auffassung schwer vereinigen lassen. Weitere Aufklärung hierüber, wie auch über die angeblich nach Quincke bei stärkeren Strömen eintretende Umkehr der Bewegung ist wünschenswert.

wo v_0 die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche, d die Gesamtdicke der Flüssigkeitsschichte bedeutet. Hieraus folgt:

$$V'(0) = V + v_0; \quad V'\left(\frac{1}{2}\right) = V - \frac{v_0}{2};$$

und für den gesuchten Wert V erhält man die Formel:

$$V = \tfrac{1}{3} V'(0) + \tfrac{2}{3} V'(\tfrac{1}{2}) \tag{29}$$

welche im übrigen, entgegen der Ansicht von R. Ellis, unabhängig von der Dicke der Schichte und von der Zähigkeit der Flüssigkeit gelten soll. Die Abhängigkeit der Geschwindigkeit V' von x wäre durch eine Parabel dargestellt. Tatsächlich stimmen die Messungen von R. Ellis hiermit nahe überein, so daß man dies wohl als eine schöne Bestätigung der Theorie der elektrosmotischen Erscheinungen ansehen kann.

Die Abweichung der Zahlenkoeffizienten der Formel (27) von (29) dürfte vielleicht auf die vorher erwähnte, die Größe von $V'(0)$ beeinflussende Fehlerquelle zurückzuführen sein. Daher wäre es wohl zweckmäßiger, die Geschwindigkeit an der Oberfläche $V'(0)$ (welche sich ohnehin nur durch Extrapolation genau bestimmen läßt) ganz von der Formel auszuschließen und z. B. als Grundlage der Berechnung die Geschwindigkeiten in den Tiefen $\frac{d}{2}$ und $\frac{d}{6}$ zu benutzen, wofür man erhält:

$$V = \tfrac{3}{4} V'(\tfrac{1}{6}) + \tfrac{1}{4} V'(\tfrac{1}{2}) \tag{30}$$

Auch könnte man die Geschwindigkeit einfach in der Tiefe

$$x = d\left(\frac{1}{2} \pm \frac{1}{\sqrt{12}}\right) \tag{31}$$

beobachten, wo v verschwindet und daher direkt $V = V'$ wird.

Erst diese Untersuchungen haben die Ableitung quantitativ genauer Resultate mittels der mikroskopischen Methode ermöglicht.

Für kreisförmige Röhren würde in analoger Weise folgen, daß die Geschwindigkeit V' in der Mitte gleich ist der Differenz $V' = V - v_0$, an der Röhrenoberfläche gleich der Summe $V' = V + v_0$. Auf weite Röhren, wie sie Whitney und Blake, Burton u. a. bei ihren Untersuchungen über Kataphorese kolloidaler Lösungen (§ 58) gebrauchten, sind diese Formeln wohl nicht anwendbar, da sie eine stationäre lamellare Strömung voraussetzen.

Überraschend ist übrigens die Raschheit, mit welcher sich die kataphoretische Bewegung einstellt; dieselbe wird durch eine Beobachtung von Cotton und Mouton (loc. cit.) charakterisiert, welche durch Wechselströme hin und hergehende Bewegungen, durch ein elektrostatisches Drehfeld kreisförmige Bewegungen der Teilchen hervorbrachten.

§ 21. Zusammenhang mit Wanderung der elektrolytischen Ionen. Ein bemerkenswerter Umstand ist, wie Smoluchowski (loc. cit. p. 191) hervorhebt, die Übereinstimmung der Größenordnung der kataphoretischen Geschwindigkeiten mit der Wanderungsgeschwindigkeit elektrolytischer Ionen (und zwar der langsamsten unter denselben). Im Bestreben, einen inneren Zusammenhang beider Erscheinungen herzustellen, haben sich manche Autoren (Billiter, W. C. Lewis, R. Ellis)[1]) verleiten lassen, die elektrische Kataphorese als eine zu der Bewegung elektrisch geladener Tröpfchen in Luft analoge Erscheinung anzusehen, und haben sogar versucht, die „elektrischen Ladungen“ der Teilchen aus dem Stokesschen Widerstandsgesetz abzuleiten.

[1]) J. Billiter, l. c. § 60. — W. C. Lewis, Zeitschr. f. Chem. u. Ind. d. Kolloide. **4.** 211. 1909. — R. Ellis, Zeitschr. f. phys. Chem. **78.** 321. 1911.

Demgegenüber sei auf die fundamentalen Unterschiede beider Erscheinungen hingewiesen: Die von Millikan[1]) u. a. untersuchten Tröpfchen befinden sich in ionenfreier, isolierender Luft; sie werden dank ihrer statischen Ladung durch das äußere Feld bewegt, wobei die Luft als zähes reibendes Medium wirkt, in welchem das Stokessche Stromsystem[2]):

$$\left.\begin{aligned} u &= c\left(1 - \frac{3}{4}\frac{a}{r} - \frac{1}{4}\frac{a^3}{r^3}\right) - \frac{3}{4}\frac{c\,a\,x^2}{r^3}\left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \\ v &= \qquad\qquad\qquad - \frac{3}{4}\frac{c\,a\,x\,y}{r^3}\left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \text{ usw.} \end{aligned}\right\} \quad (32)$$

(in bezug auf die ruhend gedachte Kugel vom Radius a) entsteht.

Dagegen ist die Ladung der elektrischen Doppelschicht der von R. Ellis untersuchten, in Wasser suspendierten Öltröpfchen im ganzen gleich Null. Sie bewegen sich dadurch, daß sie die umgebende Flüssigkeit infolge Verschiebung der äußeren Doppelschicht-Belegung aktiv in Bewegung setzen, so daß um die Kugel ein Stromsystem entsteht:

$$\left.\begin{aligned} u &= c\left(1 + \frac{a^3}{2\,r^3} - \frac{3\,a^3 x^2}{2\,r^5}\right) \\ v &= \qquad\quad - \frac{3\,a^3 x\,y}{2\,r^5} \text{ usw.} \end{aligned}\right\} \quad (33)$$

Die Anwendung des Stokesschen Widerstandsgesetzes hat da gar keinen Sinn. So stellt sich die Sache wenigstens, falls die Doppelschichttheorie der elektrosmotischen Erscheinungen richtig ist, woran zu zweifeln wir vorderhand keinen Grund haben.

Dagegen könnte man in etwas gewagter Weise umgekehrt die Wanderung der Ionen als einen Extremfall der Formel (26) auffassen. Denn die kataphoretische Geschwindigkeit ist vom Radius unabhängig; wenn man sich nun ein Anion als geladene Kugel vorstellt, so bildet deren Oberfläche die „äußere" Doppelschichtbelegung, während die „innere" Belegung durch die Endpunkte der von der Kugel ausgehenden Kraftlinien dargestellt wird. Handelt es sich um stark verdünnte Lösungen, so befinden sich jene Endpunkte, nämlich die Kationen, in einer im Vergleich zum Kugelradius erheblichen Entfernung; daher ist näherungsweise die Potentialdifferenz:

$$K(\varphi_i - \varphi_a) = \frac{e}{a}$$

(wo e die Ladung, a den Radius des Anions bedeutet).

Somit ergibt sich die Formel:

$$V = \frac{e}{4\pi a \eta}.$$

Andererseits würde die Extrapolation der auf Millikans Öltröpfchen bezüglichen Stokesschen Formel ein nur im Zahlenkoeffizienten verschiedenes Resultat ergeben:

$$V = \frac{e}{6\pi a \eta}.$$

Selbstverständlich sind beide Formeln auf den Fall von Ionen nicht strenge anwendbar, aber bekanntlich stimmt die Größenordnung des so errechneten a annähernd mit den Molekularradien, und obige Überlegung mag auch den scheinbaren

[1]) R. A. Millikan, Phys. Ztschr. **11.** 1097. 1910.

[2]) Vgl. z. B. Lamb, Lehrb. d. Hydrodynamik. 1907. p. 683.

Zusammenhang der kataphoretischen und elektrolytischen Wanderungsgeschwindigkeiten teilweise erklären. Weitere Aufklärung muß einer künftigen Theorie der Doppelschichten vorbehalten bleiben.

§ 22. Theorie der kataphoretischen Ströme. Bei dieser Gelegenheit möchte Referent auch einige Bemerkungen einschalten, welche das zur Kataphorese inverse Phänomen betreffen: nämlich die Erzeugung von elektrischen Strömen durch Bewegung fester Körper in einer Flüssigkeit.

Da auch in diesem Falle die elektromotorische Kraft durch relative Bewegung von Flüssigkeit und festem Körper hervorgerufen wird, sind hier die allgemeinen Gleichungen für Strömungsströme (25) in unveränderter Form maßgebend:

$$\Phi_2 - \Phi_1 = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi} \frac{\sigma(p_2 - p_1)}{\eta} .$$

Handelt es sich z. B. um langsame Bewegung einer Kugel in einer unendlich ausgedehnten zähen Flüssigkeit, so ist der hydrostatische Überdruck in der Umgebung derselben:

$$p_2 - p_1 = \frac{3}{2} \eta V R \frac{\cos\varphi}{r^2} \tag{34}$$

wo V die Geschwindigkeit der Kugel, R deren Radius, φ den Winkel zwischen dem Radiusvektor r und der Bewegungsrichtung bedeutet.

Daher wird das Potential in der Umgebung der Kugel

$$\Phi = \frac{3K(\varphi_i - \varphi_a)}{8\pi} V R \sigma \frac{\cos\varphi}{r^2}$$

oder nach Einführung des Stokesschen Fallgesetzes:

$$\Phi = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi} \frac{R^3 \sigma(\varrho - \varrho_1) g}{3\eta} \frac{\cos\varphi}{r^2} . \tag{35}$$

Die entstehende elektromotorische Kraft würde somit auf wachsende Entfernung r von der Kugel rasch abnehmen.

Wesentlich anders steht aber die Sache, wenn die Kugel sich innerhalb einer Röhre bewegt, oder wenn es sich z. B. um eine aus zahlreichen derartigen Kugeln bestehende Suspension handelt. In letzterem Falle ist der wirksame Überdruck gleich dem scheinbaren Gewicht der Kugeln, deren Anzahl n pro Volumeinheit sein möge, also würde die pro Längeneinheit der Röhre entfallende Potentialdifferenz betragen:

$$E = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)\sigma}{3\eta} R^3 (\varrho - \varrho_1) g n . \tag{36}$$

§ 23. Versuche von Dorn, Billiter, Mäkelt. Beobachtungen solcher kataphoretischen Ströme sind tatsächlich von Dorn[1]) angestellt worden, welcher Glasperlen oder Sand in einer mit Wasser gefüllten Röhre durch Umlegen derselben niedersinken ließ und dabei das Entstehen einer galvanometrisch meßbaren Potentialdifferenz zwischen zwei Elektroden konstatierte, welche in seitlichen Ansatzstücken nahe den Enden der Röhre eingeschmolzen waren. Das Galvanometer setzte sich mit dem Momente in Bewegung, wo die Teilchen ihre Fallbewegung begannen, und zeigte dabei einen von der oberen Elektrode ausgehenden Strom an; mit Aufhören der Fallbewegung kehrte es fast vollständig in seine Ruhelage zurück. Dorn selbst erklärt dies ganz richtig als die zur Kataphorese inverse Erscheinung: „die Körperchen sind negativ, die unmittelbar angrenzende Wasserschicht positiv elektrisch; infolge der Bewegung bleiben positiv geladene Wasserteilchen zurück,

[1]) E. Dorn, Wied. Ann. **10**. 70. 1880.

während die negative Elektrizität auf der vorangehenden Seite des Körperchens dem durchlaufenen Wasser positive Elektrizität entzieht und negative frei macht. Die freigewordenen Elektrizitäten vereinigen sich durch das Wasser und den Galvanometerdraht". Leider sind jedoch keine Zahlenangaben vorhanden, welche einen quantitativen Vergleich der Formeln (35) oder (36) ermöglichen würden[1].

Später sind analoge Versuche noch von BILLITER[2] und MÄKELT[3] angestellt worden, jedoch größtenteils mit Benutzung von leitenden Körpern, wie Metallpulver, Metalldraht, Metallfolie (meistens Silber) zwischen Elektroden von gleichem Metall und zwar meist in Lösungen von Salzen des benutzten Metalls. Dabei erhält man stärkere und länger dauernde Effekte und die Resultate unterscheiden sich, wenigstens bei MÄKELT, welcher die Stromzeitkurven graphisch angibt, darin, daß erst im Momente des Auftreffens auf die untere Elektrode ein Stromstoß erfolgte, welcher dann rasch zu einem mehrere Minuten konstanten Wert absank, oder auch, daß von jenem Momente an der Strom allmählich zu einem konstanten Wert asymptotisch anstieg.

Allerdings war auch die Versuchsanordnung etwas anderes als wie bei DORN, indem MÄKELT ein relativ kurzes und weites Rohr benutzte, und die Teilchen bis auf die untere Elektrode fielen, was mehr den Bedingungen der Formel (35) entsprechen würde.

Inwiefern sich letztere Versuche in die obige Theorie einordnen lassen, ist übrigens noch ganz ungewiß, da in derselben die Isolationsfähigkeit der Teilchen eine wesentliche Rolle spielt. Jedenfalls ist der kataphoretische Strömungsstrom nur während des Fallens tätig, und die nachher andauernden Stromreste können wohl nur auf sekundären Konzentrations- und Polarisationserscheinungen beruhen. Siehe übrigens betreffs Einflusses der Elektroden § 35, betreffs BILLITERs Theorie § 31, 67, 69.

~~[Nachtrag bei der Korrektur.]~~ Interessantes quantitatives Versuchsmaterial über kataphoretische Ströme, welches die in § 22 entwickelte Theorie derselben in schöner Weise bestätigt und teilweise ergänzt, ist ~~jüngst~~ von J. STOCK[4] erbracht worden. Es wurde Nitrobenzol mit feinem suspendierten Quarzpulver in eine 200 cm lange Glasröhre eingefüllt, welche mit fünf in seitlichen Ansätzen angebrachten Elektroden versehen war. Die zwei äußersten derselben konnten behufs Messung der Leitfähigkeit mit einer Spannung von 120 Volt und einem Galvanometer verbunden werden, die übrigen dienten zur Messung der Potentialdifferenz (mittels Elektrometers) zwischen zwei um 110 cm beziehungsweise 55 cm entfernten Punkten der Röhre.

Die durch das langsame Niedersinken des Quarzpulvers bewirkte Potentialdifferenz E war bei Anwendung einer gleichförmigen Suspension proportional dem Abstand der Elektroden und stimmte in bezug auf die Abhängigkeit von der Menge des eingefüllten Pulvers und von der Leitfähigkeit der Suspension mit der vom Referenten aufgestellten Formel (36) überein, indem das Produkt aus Elektrometer- und Galvanometer-Ausschlag sehr nahe proportional der angewendeten Quarzpulvermenge zunahm.

Doch wuchs die Potentialdifferenz E nur bei geringen Pulvermengen proportional mit denselben; bei wachsender Menge strebte sie einem Maximalwert von ca. 4 Volt zu, was sich aus der Abhängigkeit des mittleren Widerstandes der Suspension σ von der in ihr enthaltenen Quarzmenge erklärt, indem σ mit Zunahme derselben infolge der in § 37 besprochenen Oberflächenleitung abnimmt.

---

[1] Im Falle der Glasperlen handelt es sich übrigens sicher um turbulente Bewegungen, welche außerhalb der Gültigkeitsgrenzen jener Formeln stehen. Vgl. § 34.

[2] J. BILLITER, Ann. d. Phys. **11.** 921, 937. 1903; Wien. Ber. (2a). **113.** 861. 1904.

[3] E. MÄKELT, Dissert. Dresden 1909. — H. FREUNDLICH u. E. MÄKELT, Ztschr. f. Elektroch. **15.** 165. 1909.

[4] J. STOCK, ~~Krak. Anz.~~ A 1913. p. 131.

Bull. Int. de l'Acad. d. Sc. de Cracovie

In einer weiteren Arbeit[1]) hat Stock diese Versuche auf andere Flüssigkeiten, von großem spezifischen Widerstand σ, nämlich Äther und Toluol, ausgedehnt. Für Äther ergibt sich ein Wert $(\varphi_i - \varphi_a) = 0{,}0035$ Volt, dessen Kleinheit im Verein mit dem geringen Werte der Dielektrizitätskonstante K die Tatsache erklären dürfte, daß Quincke und Perrin bei Anwendung von Äther keine Elektrosmose bemerkten. Toluol, dessen Verhalten sonst etwas abweichend ist, wies die größten bisher beobachteten Potentialdifferenzen E (gegen 80 Volt) auf. Das Zeichen derselben war dasselbe wie bei Wasser, Nitrobenzol und Äther.

III. Lambs Theorie.

§ 24. Modifikation der Helmholtzschen Theorie durch Lamb. Außer dieser, auf Helmholtzs Anschauungen aufgebauten Theorie gibt es noch eine etwas abweichende Theorie der elektrosmotischen Erscheinungen, welche von Lamb[2]) herrührt. Lamb verwirft die Helmholtzsche Annahme (1), daß die Bewegung der Flüssigkeit innerhalb des Bereiches der Doppelschichte den gewöhnlichen Gleichungen zäher Flüssigkeiten Genüge leiste, sowie die später eingeführte Annahme, daß die äußerste Schichte derselben an der festen Wand unbeweglich hafte. Er betrachtet die Doppelschichte als einen Kondensator, dessen Belegungen eine Distanz d besitzen, und dessen innere, der Flüssigkeit angehörende Belegung sich längs der anderen gleitend verschieben könne, so zwar, daß sie unter Einfluß einer tangentialen Kraft X eine Geschwindigkeit $u = X/\beta$ annehme, wo β der Koeffizient der gleitenden Reibung ist. Da unter dieser Annahme die Kraft X gleich ist dem Produkt der Ladungsdichte des Kondensators und des äußeren tangentialen Potentialgefälles $\partial\Phi/\partial x$, so folgt:

$$X = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi d}\,\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \beta \bar{u} \quad . \tag{37}$$

Somit wird sich die innere Kondensatorbelegung mit der Geschwindigkeit

$$\frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi d}\,\frac{J\sigma}{Q\beta}$$

in der Richtung der X-Achse bewegen, und die ganze Flüssigkeit im Kapillarrohr wird dieselbe Geschwindigkeit annehmen, falls kein hydrostatischer Druck entgegenwirkt, so daß das gesamte elektrosmotisch übergeführte Volumen betragen wird:

$$M = \frac{J\sigma}{\beta}\,\frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi d} \tag{38}$$

Wird der Koeffizient β gleich $\beta = \eta/l$ gesetzt, so sehen wir, daß diese Formel mit der Helmholtzschen (14) identisch wird, nur daß $(\varphi_i - \varphi_a)$ durch $\frac{l(\varphi_i - \varphi_a)}{d}$ ersetzt ist. Ebenso erhält man mittels ziemlich einfacher Überlegungen die übrigen Formeln (17), (22), (26), aber alle noch mit dem Faktor l/d versehen.

§ 25. Vergleich beider Theorien. Sämtliche vorher erwähnten Versuche kann man somit natürlich in gleicher Weise auch als Bestätigung der Lambschen Theorie ansehen, und es läßt sich aus denselben kein direkter Anhaltspunkt zur Entscheidung zwischen den beiden Anschauungen gewinnen, so lange $(\varphi_i - \varphi_a)$ nicht auf andere Weise bestimmt wird.

Bull. Int. de l'Acad. d. Sc. de Cracovie A. 1914. p. 95.

[1]) ~~Welche demnächst in dem Krak. Anz. 1914 erscheinen wird.~~

[2]) H. Lamb, Phil. Mag. **25**. 52. 1888.

Der Unterschied beruht im Grunde darauf, daß HELMHOLTZ einen kontinuierlichen Übergang des Bewegungs- und Ladungszustandes annimmt, LAMB dagegen einen diskontinuierlichen. Würde die Dicke der Doppelschichte kleiner sein als Moleküldimensionen, so wäre wahrscheinlich LAMBS Berechnungsmethode passender, ist sie dagegen erheblich größer, so wird HELMHOLTZS Anschauung der Wahrheit näher kommen. Da wir aber bezüglich jener Größe bisher auf sehr unsichere Vermutungen angewiesen sind, kann man von vornherein keine Entscheidung fällen.[1]) Gewissen, später näher zu entwickelnden Anschauungen FREUNDLICHS u. a. zufolge würde allerdings die HELMHOLTZsche Theorie besser entsprechen.

Übrigens hat HELMHOLTZ, wie schon bemerkt wurde, selbst auch die Möglichkeit einer Gleitung ins Auge gefaßt und hat für den elektrosmotischen Druck an Stelle von (15) die allgemeine Formel abgeleitet:

$$P = \frac{2K\left(\varphi_i - \varphi_a + \zeta \frac{\partial \varphi}{\partial N}\right)E}{\pi(R^2 + 4R\zeta)}. \tag{39}$$

Daß QUINCKES Versuche umgekehrte Proportionalität mit R^2 ergeben haben, sah er jedoch als Beweis dafür an, daß der Gleitungskoeffizient ζ gleich Null sei. Nun ist es ja allerdings möglich, daß die Größe 4ζ gegenüber R verschwindet, und daß trotzdem das Glied $\zeta\,\partial\varphi/\partial N$ im Zähler ausschlaggebend auftritt. Andererseits ist aber zu bemerken, daß bisher ein Gleiten von tropfbaren Flüssigkeiten längs fester Wände noch nie einwandfrei konstatiert worden ist[2]), daß selbst für die kleinsten von PERRIN untersuchten Kügelchen sich das STOKESsche Widerstandsgesetz als gültig erwiesen hat, und daß sogar die Anwendung auf elektrolytische Ionen Resultate ergibt, die der Größenordnung nach richtig sind. Es sind also die auf Kontinuität beruhenden hydrodynamischen Gleichungen für Flüssigkeiten angenähert anwendbar, selbst falls es sich um Bewegungen innerhalb von Gebieten handelt, die wenig größer sind als Molekulardimensionen.

Da übrigens die Formeln der HELMHOLTZschen Theorie einfacher sind als die der LAMBschen Theorie, welche den vollständig unbestimmten Koeffizienten $\frac{l}{d}$ enthalten, erscheint es naturgemäß, sich an die ersteren zu halten, solange nicht ihre Unhaltbarkeit nachgewiesen ist. Auch kann die Tatsache, daß bei verschiedenen Temperaturen sich fast konstante Potentialdifferenzen $(\varphi_i - \varphi_a)$ ergeben, als ein für jene Formeln sprechender Wahrscheinlichkeitsgrund angesehen werden, da dieselben somit tatsächlich die Abhängigkeit von der Zähigkeit richtig darzustellen scheinen (Vergl. § 29).

IV. Weitere Prüfungen der theoretischen Formeln.

§ 26. Versuche von Dorn. Wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich, ist eine Prüfung der Theorie im Bereiche der hier behandelten Erscheinungen nur insofern ausführbar, daß man für bestimmte Flüssigkeiten und Wandsubstanzen die Werte $K(\varphi_i - \varphi_a)$ (resp. $Kl(\varphi_i - \varphi_a)/d$ nach LAMB) aus Messungen berechnet, welche unter verschiedenen Versuchsbedingungen angestellt sind, und dieselben untereinander vergleicht. Insbesondere handelt es sich um den Vergleich der mittels der Methoden der Elektrosmose und der Strömungsströme erhaltenen Resultate.

[1]) Siehe dagegen die ~~neuesten~~ Versuche von STOCK, § 37 ~~(Nachtrag)~~.

[2]) Die entgegengesetzten Resultate von HELMHOLTZ u. PIOTROWSKI werden heute nicht anerkannt. — Vgl. BRILLOUIN, Leçons sur la Viscosité. Paris 1907. — ARNOLD, Phil. Mag. **22.** 755. 1911. Für Gase ist allerdings die Gleitung sicher nachgewiesen und quantitativ gemessen.

281 282 282

Da nun die früher erwähnten Versuche von CLARK und HAGA über Strömungsströme die Berechnung jener Größen nicht ermöglichten und auch infolge Abweichung vom POISEUILLEschen Gesetz Mißtrauen erregten, stellte DORN[1]) weitere elektrometrische Messungen der mittels Durchpressens von Wasser durch Glaskapillaren erzeugten elektromotorischen Kraft an, wobei auch die Leitfähigkeit und die übertretende Flüssigkeitsmenge bestimmt wurden. Nachstehend geben wir die aus den Versuchsergebnissen nach Formel (22) berechneten $\varphi_i - \varphi_a$ wieder, wobei auch Länge, Weite der Röhren, der angewendete Druck und der gemessene spez. Widerstand σ angeführt seien:

L (mm)	$2r$ (mm)	P	$\sigma . 10^8$	$(\varphi_i - \varphi_a) . 10^2$. Volt
501	0,46	887	4,653	5,33
300	0,26	849	—	5,29
300	0,26	995	4,685	5,57
501	0,46	990	—	5,56
501	0,46	999	4,791	5,43
501	0,46	1010	8,123	5,32
138	0,21	1004	—	5,19

Eine andere Versuchsreihe bezog sich auf galvanometrische Messung des Strömungsstromes und der durchfließenden Wassermenge, woraus sich die Größe $\varphi_i - \varphi_a$ nach Formel (21) berechnen läßt. Diese Messungen ergaben nur bei den engen Kapillaren, für welche das POISEUILLEsche Gesetz gültig war, annähernd übereinstimmende Werte:

$$\varphi_i - \varphi_a = 7{,}00;\ 6{,}78,\ 6{,}20,\ 5{,}87 . 10^{-2} \text{ Volt.}$$

Die erstere Versuchsreihe erweist deutlich die Einflußlosigkeit der Röhrenweite und -länge (für enge Kapillaren), und im ganzen stimmt der Wert für $(\varphi_i - \varphi_a)$ tatsächlich mit dem von QUINCKE aus Steighöhenmessungen erhaltenen 0·052 Volt genügend überein.

§ 27. Versuche von Saxén. Noch zutreffender erscheint es, an demselben Diaphragma beide Erscheinungen, die Elektrosmose wie auch den Strömungsstrom zu messen, wie dies SAXÉN[2]) getan hat. Es folgt dafür aus den Gleichungen (23) (25) die Beziehung:

$$\frac{M}{J} = \frac{E}{P}$$

Es wurde also bei einer und derselben Tonplatte einerseits das durch den Strom J transportierte Flüssigkeitsvolumen M, andererseits die durch den hydrostatischen Druck P bedingte Potentialdifferenz E gemessen. Um dabei den Einfluß der Polarisation auszuschließen, wurden Elektroden aus demselben Metall verwendet, dessen Salzlösung benützt wurde. So ergaben sich folgende Werte:

Salz	Prozentgehalt	M/J	E/P
$ZnSO_4$	0,75	0,3817	0,3790
	1,00	0,3461	0,3438
$CuSO_4$	1,00	0,3850	0,3852
	2,00	0,2329	0,2371
$CdSO_4$	0,50	0,5823	0,5880
	1,00	0,1157	0,1153

Die Übereinstimmung der Zahlen der 3. und 4. Kolonne ist also ganz vorzüglich. Bei Verwendung destillierten Wassers gelang es nicht, eine analoge Überein-

[1]) E. DORN, Wied. Ann. **9.** 513. 1880; **10.** 46. 1880; siehe auch: ebd. **5.** 20. 1878; **8.** 119. 1879; **12.** 149. 1881.

[2]) U. SAXÉN, Wied. Ann. **47.** 46. 1892.

stimmung zu erzielen, wohl deshalb, weil die Leitfähigkeit zu sehr von kleinen Verunreinigungen des Tones beeinflußt war, vielleicht auch wegen ungenügender Elimination der Polarisation.

§ 28. Cruses Versuche über Elektrosmose durch Tondiaphragmen, Abhängigkeit von Temperatur und Stromstärke. Diese Schwierigkeit, bei Anwendung von Tondiaphragmen und destilliertem Wasser konstante Werte zu erzielen, haben alle Beobachter bemerkt (Wiedemann, Quincke, Freund), insbesondere auch Cruse[1]), welcher speziell den Einfluß von Temperatur und Stromstärke auf die elektrosmotische Überführung destillierten Wassers durch Ton-Diaphragmen (Pukallmasse) studierte. Cruse fand, daß erst nach stundenlangem Stromdurchgang sich konstante Werte der Elektrosmose einstellten und daß diese Endwerte von der Temperatur des Wassers und der Stromstärke sehr stark abhingen. Diese Tatsache erweckte in ihm starke Zweifel an der Gültigkeit der Formel (23) und überhaupt an der Berechtigung der Helmholtzschen Theorie. Seinen Messungen zufolge würde die sogen. Wiedemannsche Konstante, d. i. die pro Stromeinheit übergeführte Wassermenge M/J:

1. mit zunehmender Temperatur θ bis zu einem Maximum (bei 35—40°) anwachsen und dann wieder abnehmen, wie dies die folgenden, einer Versuchsreihe entnommenen Werte der pro Sekunde mittels eines Stromes von 1 Ampere überführten Wassermengen (in cm³) illustrieren:

θ	9,45	24,16	30,97	36,0	40,21	49,86	65,81
M/J	6,24	9,26	9,95	10,27	9,54	6,17	4,45

2. dieselbe wäre nur für kleine Stromstärken wirklich konstant, würde aber für größere Stromdichten zu einem Maximum zunehmen, um dann bei weiterer Steigerung wieder rapid abzunehmen. Letztere Erscheinung wäre in offenbarem Widerspruch mit der Theorie und Cruse meint, daß sie auf äußerer Reibung resp. Gleitung beruhe.

Dagegen hat jedoch Smoluchowski[2]) darauf hingewiesen:

1. daß ein ganz analoger Temperaturgang sich auch aus der Formel (23) ergibt, unter Annahme eines konstanten $(\varphi_i - \varphi_a)$, wenn man die Veränderlichkeit der Zähigkeit η und des spezifischen Widerstandes σ (geschätzt nach den von Cruse gemessenen Potentialdifferenzen zwischen den Elektroden) berücksichtigt;

2. daß die scheinbare Abhängigkeit jener Werte von der Stromstärke sich auf die Erwärmung des Wassers in Diaphragma zurückführen läßt, welche für größere Stromstärken (bis über 1,6 Ampere) sehr beträchtlich war.

Es läßt sich also aus jenen Ergebnissen durchaus kein Einwand gegen die Helmholtzsche Theorie ableiten. Übrigens dürfen dieselben nicht auf andere Flüssigkeiten verallgemeinert werden, indem z. B. für stark dissoziierte Elektrolyte zu erwarten steht, daß der Koeffizient $\frac{\sigma}{\eta}$ von der Temperatur ziemlich unabhängig ist.

§ 29. Weitere Versuche über Temperatureinfluß und den Zusammenhang mit Änderung der Zähigkeit. In bezug auf den Einfluß der Temperatur sei auch eine Beobachtung von Perrin angeführt[3]), derzufolge die mittels einer gegebenen elektromotorischen Kraft durch ein Schwefeldiaphragma übergeführten Wassermengen von 0° bis 32° sich genau umgekehrt verhielten wie die Zähigkeit des Wassers, welche in diesem Intervall auf die Hälfte herabsinkt. Auch hier würde sich also $K(\varphi_i - \varphi_a)$ als von der Temperatur ziemlich unabhängig ergeben. Die

[1]) A. Cruse, Phys. Ztschr. **6**. 201. 1905; Dissert. Göttingen 1905.
[2]) M. Smoluchowski, Phys. Ztschr. **6**. 529. 1905. [Vol. I, p. 463. Ed.]
[3]) J. Perrin, Journ. Chim. Phys. **2**. 618. 1904.

gleiche Bemerkung machen Cameron und Öttinger[1]) in der später noch zu besprechenden Arbeit betreffs der Potentialdifferenz $(\varphi_i - \varphi_a)$ für Glas — $^1/_{3000}$ norm. Lösung KCl, innerhalb Temperaturen 21° bis 32°.

Die genauesten hierher gehörigen Messungen sind aber wohl jene von Burton[2]), welcher die kataphoretische Geschwindigkeit von Silberteilchen in Wasser bestimmte. Er fand bei verschiedenen Temperaturen folgende Werte jener Geschwindigkeit:

θ	$V.10^5$	$\eta.10^4$	$\eta V.10^7$
3,0°	15,1	162	24,5
9,9	18,6	133	24,7
11,0	19,6	128	25,1
21,0	25,3	99,2	25,0
31,0	30,1	79,7	24,0
40,5	37,2	65,8	24,5

Aus der bemerkenswerten Konstanz der Werte des Produktes ηV folgt nach Formel (26) tatsächlich eine recht angenäherte Unveränderlichkeit der Potentialdifferenz der Doppelschichte.

~~Nachtrag:~~ In diesem Zusammenhang seien auch Versuche von Öttinger[3]) erwähnt, welche sich auf die Erzeugung von Strömungsströmen mittels Durchströmens von Zuckerlösungen durch Glaskapillaren beziehen. Als Beispiel diene die nachstehende Tabelle, welche folgende Angaben enthält: die ungefähre Konzentration der angewendeten Zuckerlösung, die gemessene Zähigkeit η derselben, die beobachtete Potentialdifferenz E und den Quotienten derselben durch den angewendeten Druck P, multipliziert mit der Zähigkeit η:

Konz.	η	E	$E\eta/P$
40 Proz.	8,17	0,903	$2{,}21 \cdot 10^{-2}$
20	2,47	2,632	$2{,}01 \cdot 10^{-2}$
10	1,64	4,384	$2{,}19 \cdot 10^{-2}$

Die Konstanz der Werte der letzten Reihe weist darauf hin, daß die Potentialdifferenz $\varphi_i - \varphi_a$ in diesem Falle von der Konzentration nicht merklich abhängt. Dies gilt jedoch nur für den Fall, daß die Lösungen sorgfältig von Kohlensäure befreit waren; sonst verursachten die durch letztere bewirkten Änderungen der Leitfähigkeit erhebliche Störungen. Auch dann blieb aber der Wert $E\eta/P\,\sigma$ trotz der großen Unterschiede der Werte von η und σ merklich konstant, was mit der Formel (22) in bestem Einklang steht.

§ 30. Proportionalität der elektromotorischen Kraft mit dem hydrostatischen Druck, Versuche von Cameron u. Öttinger, Riéty. Als Bestätigung der theoretischen Formeln können überdies noch Messungen angeführt werden, welche anläßlich anderer, später noch ausführlich zu besprechender Untersuchungen ausgeführt wurden, aber nebenbei die Gültigkeit einiger der von Quincke und Dorn erhaltenen Ergebnisse in erweitertem Umfang erwiesen haben.

So haben Cameron und Öttinger die durch Strömen von Wasser durch eine Glaskapillare (0,65 mm Weite) hervorgebrachte elektromotorische Kraft gemessen, wobei sie sowohl den angewandten Druck als auch (durch passende Verbindung der

[1]) A. Cameron u. E. Öttinger. Phil. Mag. **18.** 586. 1909.
[2]) E. F. Burton, Phil. Mag. **17.** 587. 1909.
[3]) E. Öttinger, Phys. Ztschr. **13.** 270. 1912.

vier in die Röhre eingeschmolzenen Elektroden $\alpha, \beta, \gamma, \delta$) die wirksame Länge der Kapillaren variierten. Die nachstehende Tabelle, in welcher A den Gesamtdruckunterschied an den Enden der Kapillare (in mm Quecksilber), P den davon auf das Stück zwischen den Elektroden entfallenden Teil, E die beobachtete elektromotorische Kraft (in Volts) bezeichnet, beweist tatsächlich Konstanz des Verhältnisses E/P, soweit dies bei den mannigfachen Fehlerquellen (Unregelmäßigkeiten der Einschmelzstellen, Veränderung der Leitfähigkeit des Wassers) zu erwarten war:

A		P	E	$E/P.10^3$
249,5	$\alpha\beta$	57,4	0,398	6,94
249,8	$\beta\gamma$	89,8	0,571	6,36
249,1	$\alpha\gamma$	146,7	0,971	6,62
249,6	$\beta\delta$	152,6	0,959	6,27
248,3	$\alpha\delta$	208,7	1,351	6,47
380,9	$\alpha\beta$	87,6	0,593	6,76
381,6	$\gamma\delta$	96,1	0,490	5,10
380,7	$\beta\gamma$	136,8	0,815	5,96
381,3	$\alpha\gamma$	224,5	1,400	6,23
382,0	$\beta\delta$	233,4	1.307	5,60
382,2	$\alpha\delta$	321,3	1,914	5,96
575,0	$\alpha\beta$	132,2	0,833	6,30
567,7	$\beta\gamma$	204,0	1,197	5,87
594,4	$\alpha\gamma$	350,0	2,100	6,00

Die Weite der Röhre war übrigens schon nahe der Grenze gelegen, wo das Poiseuillesche Gesetz seine Gültigkeit verliert.

Innerhalb noch weiterer Grenzen wird die Proportionalität der elektromotorischen Kraft mit dem Druck in einer Versuchsreihe von Riéty[1]) über Strömungsströme nachgewiesen, welche dieser Beobachter mittels Durchpressens einer 10%igen Lösung von $CuSO_4$ (mittels eines Cailletet-Apparates) durch sehr dünne Glaskapillaren erzeugte:

P (Atmosph.)	5	10	15	25	35	52,5	70	85	90
E Volt. 10^3	1,86	3,7	5,5	9,3	13,0	18,6	24,2	27,9	29,8
$E \cdot 10^4$	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,5	3,5	3,3	3,3

V. Weitere Bemerkungen über die Doppelschichttheorie.

§ 31. Billiters Kritik der Theorie Helmholtz'. Als Abschluß dieses, die formalen Gesetze der elektrosmotischen Erscheinungen behandelnden Teiles mögen noch einige theoretische Bemerkungen betreffs einzelner Punkte der Theorie eingefügt werden.

So hat Billiter[2]) gewisse Bedenken gegen die Helmholtzsche Auffassung der Doppelschichten vorgebracht. Nach Helmholtz würde eine elektrische Doppelschicht im ganzen die Ladung Null besitzen, indem die Dichten der beiderseitigen entgegengesetzten Elektrizitäten gleich groß sind, und infolgedessen würde sie keinerlei elektrostatische Fernwirkung ausüben. Billiters Einwände gegen Helmholtz' Erklärung der elektrischen Kataphorese dürften wohl auf Mißverständnissen beruhen. Billiter meint, daß sich die Kataphorese kleiner Teilchen und verwandte Erscheinungen nur dann befriedigend erklären lassen, wenn man annimmt, daß die entgegengesetzten Ladungen der Doppelschicht einander nicht gleich sind. Der übrigbleibende Überschuß der einen Ladung würde dann den

[1]) L. Riéty, C. R. **152.** 1375. 1911.
[2]) J. Billiter, Ann. d. Phys. **11.** 902, 937. 1903.

Bewegungsantrieb im elektrischen Felde vermitteln, wie wenn es sich um große Ionen handeln würde. Wie aus § 18 hervorgeht, ist eine solche Annahme zur Erklärung der Kataphorese durchaus nicht erforderlich, aber es lohnt sich wohl näher zu untersuchen, ob sie zulässig ist.

Soweit es sich um Elektrosmose oder Strömungsströme handelt, in welchen ja das äußere Gefäß ruhend vorausgesetzt wird, scheint es für die Gültigkeit der Formeln (14), (17), (22) ganz einerlei zu sein, ob die entgegengesetzten Ladungen der Doppelschicht einander gleich sind oder nicht; es würde das nur die Potentialverteilung im äußeren Raum beeinflussen. Dagegen müßte der Unterschied bei der Kataphorese suspendierter Teilchen zum Vorschein kommen, da dann außer der durch (26) gegebenen Geschwindigkeit, welche von der gegenseitigen Verschiebung der beiden Belegungen herrührt, noch eine Translation der Teilchen als Ganzes, samt den anliegenden Flüssigkeitsschichten infolge der überschüssigen Ladung stattfinden müßte.

Setzen wir z. B. bei denselben Kugelgestalt voraus, so würde der Ladungsüberschuß offenbar der Kugeloberfläche proportional sein, während der Reibungswiderstand nach STOKES' Gesetz $6 R \pi \eta V$ betragen würde. Somit würde der Ladungsüberschuß eine dem Kugelradius proportionale Geschwindigkeit hervorrufen, und die Gesamtgeschwindigkeit wäre bestimmt durch eine Formel von der Gestalt:

$$V = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4 \pi \eta} + a R . \tag{40}$$

Soweit aber bisher bekannt (vgl. § 19), scheint die kataphoretische Geschwindigkeit von der Teilchengröße unabhängig zu sein, was sehr gegen die Hypothese BILLITERS spricht. Auch wäre es wohl schwer begreiflich, warum Körper von großer Flächenausdehnung, wie z. B. Pulver, an denen die überschüssige Ladung sehr groß wäre, sich nicht nach außen wie elektrostatisch geladene Körper verhalten.

Andererseits bemerken wir aber, daß man von vornherein gar nicht nötig hat anzunehmen, daß $\varphi_i - \varphi_a$ den gesamten Potentialunterschied zwischen den beiderseitigen äußersten Grenzen der Doppelschicht bedeute. Es möge z. B. der Potentialverlauf in den Grenzschichten Glas—Wasser durch die nebenstehende Figur dargestellt sein.

Wasser | Glas | φ_i | φ_a

Figur 274.

Die in den Formeln auftretende Potentialdifferenz $\varphi_i - \varphi_a$ entspricht dann, wie aus deren Ableitung ersichtlich ist, nur dem verschiebbaren Teil der Doppelschicht (d. i. zwischen dem Inneren der Flüssigkeit und der an der Wand fest haftenden Schicht), welche wir als „aktive" Potentialdifferenz bezeichnen können; der Wert derselben kann offenbar viel kleiner sein als die gesamte Differenz zwischen dem Inneren der Flüssigkeit und dem Inneren des festen Körpers. Hierauf werden wir in § 70 noch zurückkommen.

§ 32. Grenzflächen flüssiger Medien. Ausdrücklich sei hervorgehoben, daß die theoretischen Berechnungen sich auf den Fall Flüssigkeit—feste Wand beziehen, daß die Formeln daher nicht, wie das meistens geschieht, ohne weiteres auf Grenzflächen zweier Flüssigkeiten oder von Flüssigkeit und Gas übertragen werden dürfen. Denn in einem solchen Falle übt das elektrische Feld auf die beiderseitigen Grenzschichten Kräfte aus, und es müssen in beiden Flüssigkeiten Strömungen entstehen[1]; die Grenzfläche selbst wird im allgemeinen eine tangentiale Bewegung

[1]) Siehe z. B. W. RYBCZYŃSKI, ~~Krak. Anz. Jänner~~ 1911. 40. — J. HADAMARD, C. R. **153**. 1735. 1911; **154**. 109. 1912.

Bull. Int. de l'Acad. d. Sc. de Cracovie A, Janvier

annehmen und der Bewegungszustand der Flüssigkeit wird verschieden sein von jenem, welcher den obigen Formeln zugrunde liegt. Dieselben dürften zwar in den meisten Fällen formell anwendbar bleiben, aber das auf diese Weise ermittelte $(\varphi_i - \varphi_a)$ wird nicht mehr dieselbe Bedeutung haben wie in den vorher behandelten Fällen. In diese Kategorie gehören z. B. die Beobachtungen von Quincke über elektrische Kataphorese von Gasbläschen und Flüssigkeitströpfchen, von Lewis[1]) und R. Ellis[2]) über Kataphorese von Öl- und Anilintröpfchen u. dergl.

290

Auch muß das Durchsprudeln von Gasbläschen durch Wasser, die Fallbewegung von Quecksilbertröpfchen durch die Flüssigkeit/bei kapillarelektrischen Versuchen gewisse elektromotorische Kräfte erregen, analog jenen, die Dorn, Billiter, Mäkelt beobachtet haben. Allerdings dürften diese Effekte an Größenordnung hinter den dabei unter Umständen zum Vorschein kommenden eigentlich kapillarelektrischen Erscheinungen, welche an Ausdehnung oder Schrumpfung der Grenzflächen gebunden sind, erheblich zurückstehen.

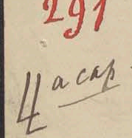
Hierher gehören ferner die Beobachtungen an freien, in Luft austretenden Ausflußstrahlen, wie solche von Dorn[3]), Elster[4]), Gouré de Villemontée[5]) angestellt wurden. Daß sich hierbei zwischen den verschiedenen Punkten eines solchen Strahles keine Strömungsströme konstatieren ließen, beruht wohl darauf, daß die mit der Flüssigkeitsoberfläche in Kontakt stehende Luft von der letzteren vollständig mitgerissen wird, und die Bewegung der Doppelschicht als Ganzes einen Konvektionsstrom vom Werte Null gleichkommt.



In bezug auf gasförmige Medien siehe übrigens § 72.

§ 33. Einfluß eines elektrischen Leitvermögens der Wand. Eine für die Gültigkeit der Formeln (23—26) ganz wesentliche Voraussetzung ist ferner, daß die Wände als Isolatoren angesehen werden können, denn die Berechnung stützt sich wesentlich darauf, daß die elektrischen Stromlinien in der Nähe der Wände tangential verlaufen. Es ist also nicht statthaft, jene Formeln ohne weiteres auf Diaphragmen und suspendierte Teilchen aus leitender Substanz zu übertragen, wie das so oft geschieht (siehe z. B. § 56); und zwar läßt sich leicht voraussehen, daß eine Eigenleitfähigkeit der Wände die beobachteten Effekte im allgemeinen verringern wird.

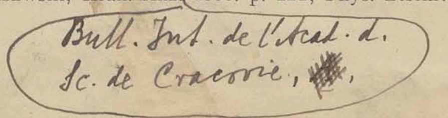
Die Formeln für Kapillarröhren (14b), (17) bleiben dagegen auch für leitende Wände gültig, da hier die Stromlinien in jedem Falle den Wänden entlang verlaufen. Beobachtet man jedoch die elektromotorische Kraft des Strömungsstromes, so muß diese durch eine Leitfähigkeit der Wand wohl beeinflußt werden. Nehmen wir z. B. an, daß der Widerstand der leeren Röhre sich zum Widerstand der eingeschlossenen Flüssigkeitssäule verhalte wie $1 : \omega$, so wird eine Potentialdifferenz E den Gesamtstrom $J = \frac{EQ}{L\sigma}(1 + \omega)$ hervorrufen. Für den Fall des Gleichgewichtes muß sich derselbe mit dem konvektiven Strömungsstrom kompensieren, also folgt die zum Vorschein kommende Potentialdifferenz:



$$E = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi} \frac{P\sigma}{\eta(1 + \omega)} . \tag{41}$$

Dies wird qualitativ durch eine interessante Beobachtung von Zakrzewski[6]) bestätigt. Die elektromotorische Kraft des Strömungsstromes in einer von Wasser durchflossenen, innen versilberten Glasröhre ist desto geringer, je dicker die

[1]) W. C. Lewis, Ztschr. f. Chem. u. Ind. d. Kolloide. **4.** 209. 1909.
[2]) R. Ellis, Ztschr. f. phys. Chem. **78.** 321. 1911.
[3]) E. Dorn, Wied. Ann. **5.** 29. 1878.
[4]) J. Elster, Wied. Ann. **6.** 553. 1879.
[5]) G. Gouré de Villemontée, Journ. de Phys. **6.** 59. 1897; Éclair. électr. **8.** 491. 1896.
[6]) C. Zakrzewski, ~~Krak. Anz.~~ 1900. p. 224; Phys. Ztschr. **2.** 146. 1900.



Silberschicht; manchmal steigt sie plötzlich auf das Hundertfache und kann dann durch eine in der Nähe vor sich gehende Funkenentladung auf den ursprünglichen Wert zurückgebracht werden. Bekanntlich verhalten sich solche dünne Silberschichten wie Kohärer, hier kommt also wahrscheinlich die Erhöhung des ω in der Erniedrigung des E zum Vorschein.

§ 34. Einfluß der Turbulenz der Flüssigkeitsbewegung. Ausdrücklich sei auch auf die Bedingung hingewiesen, daß die Bewegung eine „langsame“ sei. Das heißt, daß sogen. „turbulente“ Bewegungen, in denen außer der Zähigkeit auch noch die Trägheit der Flüssigkeit zum Ausdruck kommt, wie z. B. Strömung durch weite Röhren, Bildung von Ausfluß-Strahlen und dergl., von der Anwendbarkeit der theoretischen Formeln prinzipiell ausgeschlossen sind. Bekanntlich ist es der Hydrodynamik noch nicht gelungen, derartige Fälle einer einfachen theoretischen Behandlung zuzuführen; daher ist vorderhand die Ausdehnung der Theorie auf solche Erscheinungen nicht zu erwarten.

Offenbar bezieht sich diese Beschränkung insbesondere auf die Strömungsströme, während bei der Elektrosmose und Kataphorese die Bedingungen der „Langsamkeit“ in der Praxis wohl immer erfüllt ist. Es wurde schon oben darauf hingewiesen, daß infolge dieses Umstandes die Versuche von Edlund, teilweise auch solche von Clark, Dorn[1]) u. a. über den Anwendungsbereich der Formeln des § 15 hinausgehen. Namentlich bei Benutzung der Formel (21) treten in weiteren Röhren große Abweichungen auf; Dorn fand für solche das mit derselben in vollständigem Widerspruch stehende empirische Gesetz gültig, daß bei gleicher mittlerer Geschwindigkeit u_m des fließenden Wassers die Stromstärke J dem Röhrendurchmesser ungefähr proportional ist.

Dagegen hat Edlund andere Resultate erhalten; aus seinen Angaben würde folgen, daß die Stromintensität für weite Röhren dem Quadrat der mittleren Geschwindigkeit proportional sei, ohne Rücksicht auf den Röhrendurchmesser. Eine Klarlegung mittels weiterer systematischer Versuche wäre erwünscht.

§ 35. Einfluß der Strömung in der Umgebung der Elektroden. Auf die Asymmetrie turbulenter Flüssigkeitsströmungen dürften wohl gewisse, von Zakrzewski (l. c.) bemerkte eigentümliche Asymmetrie-Erscheinungen zurückzuführen sein, indem z. B. die beim Durchströmen einer zwischen zwei weiteren Gefäßen eingeschalteten Kapillare auftretende elektromotorische Kraft wesentlich von der Lage derjenigen Elektrode abhing, die sich in der Nähe des Ausflußstrahles befand. Es können in solchen Fällen aber auch gewisse, von Helmholtz näher untersuchte Erscheinungen mitspielen, nämlich Ströme zwischen polarisierten Platinelektroden, hervorgebracht durch Bewegung einer derselben gegen die umgebende Flüssigkeit („Bewegungsströme“ und „Erschütterungsströme“)[2]).

Neuere Beobachtungen ähnlicher Art hat Billiter[3]) angestellt (mit Verwendung von Quecksilber-Elektroden in verschiedenen Lösungen), sowie Pionchon[4]), welcher behauptet, daß ganz allgemein die Bewegung einer in einen elektrolytischen Stromkreis eingetauchten Elektrode eine elektromotorische Wirkung hervorruft — ohne jedoch die Art derselben allgemein zu präzisieren.

Solche Erscheinungen fallen außerhalb des Rahmens der Helmholtzschen Theorie der elektrosmotischen Erscheinungen, da es sich bei diesen nur um Ströme handelt, die tangential zur Oberfläche verlaufen. Eingehendere systematische Untersuchungen derselben sind noch ausständig und es ist fraglich, inwiefern hierbei das Zerreißen der Helmholtzschen Doppelschichte oder in gewissen Fällen auch andere Vorgänge, wie Ausgleichung von Konzentrationsunterschieden, beteiligt sind.

---

[1]) Siehe Literaturzusammenstellung in § 8 u. 26.
[2]) H. v. Helmholtz, Wied. Ann. **11.** 737. 1880; Wissensch. Abh. I p. 899.
[3]) J. Billiter, Ztschr. f. phys. Chem. **48.** 542. 1904.
[4]) Pionchon, C. R. **153.** 47. 1911. Siehe auch St. Prokopin, Beibl. **37**, 229. 1913.

§ 36. Strömungsströme beim Auftreffen von Flüssigkeitsstrahlen auf feste Wände. Gewissermaßen als diametrales Gegenstück zu den langsamen Bewegungen in Kapillarröhren seien einige Beobachtungen von Elster[1]) angeführt, in welchen die Potentialdifferenz zwischen den verschiedenen Punkten eines auf eine feste Platte schief auftreffenden Wasserstrahles gemessen wurde. Es zeigte sich, daß in der Umgebung des Auftreffpunktes ein erhebliches Potentialgefälle besteht, während dasselbe im freien Strahl sowie auch in den entfernteren Teilen der überströmten Platte verschwindend klein ist. Die Potentialdifferenz zwischen dem einströmenden Strahl und der abfließenden Flüssigkeit ist mithin von der Größe der Platte unabhängig (falls diese eine gewisse Grenze übersteigt). Sie ist unter sonst gleichen Verhältnissen proportional dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers und wächst mit dem Winkel zwischen Strahl und Normale zur Platte.

Auch hängt sie in bedeutendem Maße vom Material der Platte ab, und zwar wächst die Wirksamkeit verschiedener Materialien in folgender Reihenfolge: Marmor (= 0), Schiefer, Seide, Asbest, Glimmer, Kautschuk, Kalkspat, Wachs, Glas, Porzellan, Schwefel, Schellack. Bei einer Schellackplatte betrug die elektromotorische Kraft 112 Volt für eine Ausflußgeschwindigkeit des Wasserstrahles von 22,5 m/sec.

In diesen Versuchen liefert also nicht ein hydrostatischer Überdruck, sondern die kinetische Energie des Flüssigkeitsstrahles die Kraft zur Verschiebung der elektrischen Doppelschicht Wasser-Platte, und es ist begreiflich, daß sich dieser Effekt in der Nähe der Auftreffstelle lokalisiert. Theoretisch ist diese Erscheinung noch nicht näher untersucht worden.

§ 37. Theoretisch zu erwartende Oberflächenleitung. Smoluchowski[2]) hat darauf hingewiesen, daß in gewissen Fällen die Rückwirkung der Elektrosmose auf die ursprüngliche Potentialverteilung in Betracht zu ziehen ist; wenn nämlich die Grundlagen der Helmholtz-Lambschen Theorie der elektrosmotischen Erscheinungen richtig sind, so muß infolge der Bewegung der Doppelschichte ein Konvektionsstrom längs der Wände zustandekommen, welcher sich über dem ursprünglichen Leitungsstrom superponiert. Im Falle einer Kapillarröhre läßt sich die Größe desselben leicht berechnen. Benutzt man der Einfachheit wegen die Lambsche Bezeichnungsweise, so ist die Flächendichte der Elektrizität auf den Kondensatorplatten, welche bei Lamb die Doppelschicht vertreten: $\varepsilon = \frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi d}$ und die Geschwindigkeit, welche dieselben unter Einfluß des Potentialgefälles $\frac{\partial \Phi}{\partial x}$ annehmen, wird:

$$v = \frac{l}{\eta} \varepsilon \frac{\partial \Phi}{\partial x} .$$

Somit wird der konvektive Oberflächenstrom per Längeneinheit des Umfanges der Röhre:

$$J_s = \varepsilon v = \frac{l}{\eta} \left[\frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi d} \right]^2 \frac{\partial \Phi}{\partial x} .$$

Das Verhältnis des konvektiven, als „Oberflächenleitung" auftretenden Stromes zum Ohmschen Querschnitts-Strom wird also betragen:

$$\frac{J_s}{J_q} = \frac{l}{\eta} \left[\frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi d} \right]^2 \frac{S\sigma}{Q} , \tag{42}$$

---

1) J. Elster, Wied. Ann. **6.** 553. 1879.

2) M. v. Smoluchowski, ~~Krak. Anz.~~ 1903. p. 182; Phys. Ztschr. **6.** 529. 1905.

wo S den Umfang, Q den Querschnitt der Röhre bedeutet. Mit Benutzung der HELMHOLTZschen Berechnungsmethode würde man ganz analog erhalten:

$$\frac{J_s}{J_q} = \frac{1}{\eta}\left[\frac{K}{4\pi}\right]^2 \frac{S\sigma}{Q}\int_0^\infty \left(\frac{\partial\varphi}{\partial N}\right)^2 dN$$

was im Falle eines in der Doppelschichte von der Dicke d linearen Potentialverlaufes sich auf

$$\frac{J_s}{J_q} = \frac{S\sigma}{Q\eta d}\left[\frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi}\right]^2 \tag{43}$$

reduziert. Bei „isolierenden" Flüssigkeiten und im Falle einer großen Oberflächenausdehnung der festen Wände (enge Kapillaren, Pulver usw.) könnte dieser Oberflächenstrom den OHMschen Strom bei weitem überdecken.

Gewisse Erscheinungen der Oberflächenleitung sind ja wohl bekannt, wie z. B. die Leitung längs Glas, Ebonit-Flächen; dabei spielen aber Verunreinigungen sowie die „Wasserhaut" die Hauptrolle. Versuche, welche die obige theoretisch vorauszusehende Erscheinung einwandfrei erweisen würden, sind noch nicht bekannt; solche wären aus dem Grunde interessant, da sie nach obigen Formeln eine Schätzung der Dicke der Doppelschichte ermöglichen würde.

~~(Nachtrag) In jüngster Zeit sind~~ derartige Versuche von STOCK[1]) im Lemberger Physikalischen Institut angestellt worden, und zwar mit Benutzung von Toluol, Nitrobenzol, Anilin, Methylalkohol, in welche sorgfältig getrockneter Quarzsand (dreierlei Sorten, von verschiedener Korngröße) hineingeschüttet wurde. Nitrobenzol ergab die besten Resultate; Toluol ist wegen zu geringer Leitfähigkeit und zu großen Abweichungen vom OHMschen Gesetze nicht geeignet, die letztgenannten Flüssigkeiten dagegen zeigten wegen zu großer Leitfähigkeit weniger deutliche Effekte. Bei gutleitenden wässerigen Salzlösungen ist die Oberflächenleitung natürlich ganz zu vernachlässigen. Bezeichnet man also das in letzteren beobachtete Verhältnis der Leitfähigkeit mit Quarzpulver zur Leitfähigkeit ohne Quarzpulver mit $\beta = \frac{J_q}{J_0}$, so gibt der Vergleich dieses Wertes mit dem entsprechenden in Nitrobenzol beobachteten Verhältnis $\gamma = \frac{J_s + J_q}{J_0}$ ein Mittel, um den Oberflächenstrom J_s vom Querschnittstrom J_q abzusondern.

Man erhält nämlich $\frac{J_s}{J_q} = \frac{\gamma - \beta}{\beta}$ andererseits läßt sich die Größenordnung des Verhältnisses S/Q der zwischen den Sandkörnern befindlichen Kanäle unter Annahme einer kugelförmigen Gestalt der Körner aus dem von der Kornsubstanz eingenommenen (durch Wägung ermittelbaren) Volumprozent φ berechnen nach der Formel:

$$\frac{S}{Q} = \frac{1}{r\sqrt{\beta(1-\varphi)}}\sqrt[3]{\frac{36\,\varphi^2}{\pi^2}}\,.$$

Somit hat man alle nötigen Daten, um die Größenordnung der Dicke der Doppelschicht d zu bestimmen, wenn man den Wert $K(\varphi_i - \varphi_a)$ beispielsweise aus den elektrosmotischen Versuchen von COEHN und RAYDT (§ 46) entnimmt. In der nachstehenden Tabelle sind die Werte des Kornradius in Zentimeter, des Quotienten β, ferner die für Nitrobenzol beobachteten Werte des Quotienten γ, des spezifischen Widerstandes σ, sowie der von STOCK nach Formel (43) berechneten Dicke der Doppelschicht d zusammengestellt:

---

[1]) J. STOCK, ~~Krak. Anz.~~ A, 1912. p. 635.

r	β	γ	$\sigma \cdot 10^{-7}$	$d \cdot 10^{7}$
0,013	0,28	0,47	3,16	1,7
0,00065	0,33	1,59	2,98	4,7
		4,95	10,0	4,3
0,0001	0,40	8,32	4,29	7,2
		18,23	10,1	7,4

Bei Anwendung des feinsten Quarzpulvers war also die Leitfähigkeit unter Umständen bis 20 mal größer als in der reinen Flüssigkeit, dagegen war hier der Kornradius nicht so genau bestimmbar; beim gröbsten Pulver war dagegen der ganze Effekt viel geringer, daher dürfte der aus den Versuchen mit der mittleren Sorte resultierende Wert: $d = 4{,}5 \cdot 10^{-7}$ cm das meiste Vertrauen verdienen. Es läßt sich mit Hilfe desselben die in den Grenzschichten befindliche elektrische Ladungsdichte $\frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi d}$ abschätzen, sowie die mittlere Entfernung der dieselbe zusammensetzenden Ionen. Letztere würde diesen Versuchen zufolge ungefähr $6{,}5 \cdot 10^{-7}$ cm betragen, wäre also von derselben Größenordnung wie deren Abstand von der Wand und von höherer Größenordnung als die Molekulardurchmesser.

Die Interpretation dieser Resultate wäre verschieden, wenn man die Lambsche Theorie als Grundlage annehmen würde. Es wären in diesem Falle die in der letzten Reihe der Tabelle angegebenen Zahlen nicht als Werte von d, sondern als Werte des Koeffizienten der äußeren Reibung l (in Formel 42) anzusehen. Eine Weiterführung dieser für die ganze Theorie der Elektrosmose hochwichtigen Versuche unter geänderten Versuchsbedingungen ist sehr erwünscht. Diese Ergebnisse sind durch eine zweite Arbeit J. Stocks[1]) bestätigt worden, in welcher der Verfasser die kataphoretischen Ströme untersuchte, die in Nitrobenzol durch zu Boden sinkendes Quarzpulver hervorgebracht werden. Man kann nämlich aus der Abhängigkeit der hierbei entstehenden elektromotorischen Kraft E von der gemessenen Pulvermenge die Größe des Potentialsprunges $(\varphi_i - \varphi_a)$ und die Größe der Oberflächen-Leitfähigkeit, beziehungsweise die Dicke der elektrischen Doppelschicht ermitteln. Aus der von Stock ausgeführten Berechnung, deren Details hier zu weit führen würden, resultieren für Nitrobenzol-Quarz die Werte $(\varphi_i - \varphi_a) = 0{,}053$ Volt und $d = 4 \cdot 5{,}10^{-7}$ cm, welch letzterer zufälligerweise genau mit dem früher hierfür erhaltenen Werte übereinstimmt.

§ 38. Leitfähigkeit von Suspensionen und kolloidalen Lösungen. Auch die elektrische Kataphorese suspendierter Teilchen muß mit einer analogen Wirkung verknüpft sein: es muß die Leitfähigkeit einer hinreichend fein zerteilten Emulsion, bzw. Suspension, größer sein als die des reinen Lösungsmittels, sogar wenn die suspendierte Substanz selbst schlechter leitet.

Auch für diese Folgerung könnte man viele Belege anführen, indem kolloidale Lösungen in der Regel erheblich besser leiten als Wasser, doch sind genau definierte Messungen, die man mit der Formel quantitativ vergleichen könnte, bisher an solchen nicht gemacht worden. Es sind nämlich, wie namentlich Whitney und Blake[2]) gezeigt haben, in den meist untersuchten Metalllösungen immer erhebliche Spuren von Elektrolyten zugegen, deren Entfernung nur sehr schwer gelingt. Dies zeigte sich namentlich in folgendem: wenn aus einer kolloidalen Goldlösung das suspendierte Gold durch elektrische Kataphorese ab-

[1]) J. Stock, Krak. Anz. A. 1913. p. 131. Vgl. § 23, Nachtrag.

[2]) W. R. Whitney u. J. C. Blake, Journ. Am. Chem. Soc. **26**. 1339. 1904. Siehe auch z. B. J. Duclaux, C. R. **140**. 1468. 1905; Ztschr. f. Chem. u. Ind. d. Kolloide. **3**. 126. 1908. — A. Lottermoser, Ztschr. f. phys. Chem. **60**. 451. 1907; **62**. 359. 1908. — G. Malfitano, C. R. **139**. 1221. 1904; **143**. 172. 1906.

geschieden und dann wieder in reinem Wasser aufgelöst wurde, so verminderte sich bei jeder solchen Operation die elektrische Leitfähigkeit. Bei fünfmaliger Wiederholung sank sie von $13{,}2 \cdot 10^{-6}$ bis auf $1{,}8 \cdot 10^{-6}$, während das reine Wasser eine Leitfähigkeit von $1{,}3 \cdot 10^{-6}$ besaß. Es ist also fraglich, inwieweit der geringe übrig bleibende Unterschied wirklich auf der Gegenwart der suspendierten Goldteilchen beruht. Allerdings sind kolloidale Metallösungen wegen der äußerst geringen Sättigungskonzentration zu derartigen Versuchen überhaupt nicht geeignet.

Dagegen haben Stocks Messungen der Leitfähigkeit von Suspensionen von Quarzpulver in Nitrobenzol den theoretisch erwarteten Effekt klar erwiesen. (Vgl. § 32)

VI. Mitwirken der Elektrosmose bei anderen Erscheinungen.

§ 39. Technische Anwendungen. In der Praxis kann man die Elektrosmose als Mittel zur Entwässerung feuchter Substanzen, z. B. Torf verwerten. So gibt z. B. Graf v. Schwerin[1]) an, daß aus 85—90 % Wasser enthaltendem Torf durch 13—15 Kilowattstunden 1 m³ Wasser zur Kathode hin entfernt wird, was einem Fünftel des Brennwertes des Torfs entspricht, während Trocknung mittels Wärme den ganzen Brennwert des Torfes aufbrauchen würde.

Auch beim Gerben von tierischen Häuten wird die Elektrosmose mit Vorteil verwendet[2]).

§ 40. Lemströms Versuche. Daß ein elektrischer Strom längs befeuchteter Glaswände eine Strömung des Wassers im Sinne des elektrischen Stromes hervorruft, kann man nach Lemström[3]) augenfällig zeigen, indem man eine Kapillarröhre senkrecht in Wasser eintaucht und zwischen dem Wasser und einer über der Röhre in Luft angebrachten Spitze eine Elektrizitätsquelle von hoher Spannung (z. B. Influenzmaschine) einschaltet. Ist die Spitze Kathode, so steigt das Wasser am Rande des Meniskus in die Höhe und bildet mit der Zeit Tropfen oberhalb desselben. Lemström meint, daß auch der von ihm untersuchte Einfluß der Elektrizität auf den Pflanzenwuchs auf diesen Erscheinungen beruhe. Vgl. auch § 54.

§ 41. Einfluß auf das osmotische Gleichgewicht bei Membranen. Auch bei Messungen des osmotischen Druckes kann die Elektrosmose unter Umständen eine Rolle spielen. So untersuchte Girard[4]) das osmotische Gleichgewicht zwischen zwei durch eine tierische Membran (Schweinsblase) getrennten isotonischen Lösungen, z. B. einer Zuckerlösung und einer Weinsäurelösung, und fand dabei eine merkliche Störung des Gleichgewichts, welche er der Elektrosmose zuschreibt, die durch die Konzentrations-Potentialdifferenz zwischen den beiden Flüssigkeiten („champ actif") hervorgerufen wird. Girard stützt seine Ansicht durch einige Versuche qualitativer Natur; seine Angaben genügen nicht zur theoretischen Berechnung dieser Fehlerquelle nach § 16, doch erscheint es ganz wahrscheinlich, daß letztere unter Umständen (in sehr verdünnten Lösungen) sogar den Einfluß des osmotischen Druckes verdecken könnte.

§ 42. Einfluß auf elektrolytische Überführungszahlen, Hittorfs Schlierenphänomen. Hittorf[5]) bemerkte, daß die Elektrosmose auch bei den Versuchen über elektrolytische Überführung der Ionen eine Fehlerquelle bildet, falls Ton-

---

[1]) Graf v. Schwerin, Ztschr. f. Elektrochem. **4.** 62. 1897; **9.** 739. 1903.

[2]) F. Roever, Wied. Ann. **57.** 397. 1896.

[3]) S. Lemström, Ann. d. Phys. **5.** 729. 1901. Siehe auch frühere ähnliche Versuche von A. Roiti, Beibl. **4.** 58 und D. Gernez, C. R. **89.** 303. 1879.

[4]) P. Girard, C. R. **148.** 1047. 1909; **153.** 401. 1911.

[5]) W. Hittorf, Ztschr. f. phys. Chem. **39.** 613. 1902; **43.** 2. 1903. In Membranen finden erhebliche Änderungen der Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen statt: W. Bein, Ztschr. f. phys. Chem. **27.** 1. 1898; N. Cybulski u. D. Borkowski, 1909. p. 660. Das könnte vielleicht mit den oben beschriebenen Erscheinungen zusammenhängen.

scheidewände oder Membranen zur Trennung der kathodischen und anodischen Flüssigkeit verwendet werden. Bei näherem Studium dieser Erscheinungen zeigte sich, daß Ton und pflanzliche Diaphragmen bei allen untersuchten Lösungen (KCl, NH_4Cl, NaCl, $BaCl_2$, $CaCl_2$, $MgCl_2$, $CdCl_2$, $CuSO_4$) normale Kataphorese in der Richtung gegen die Kathode zu hervorbrachten. Dagegen war dies bei Verwendung von tierischen Membranen und Pergamentpapier nur für die Salze und Hydroxyde der Alkalien der Fall, während Salze mehrwertiger Metalle sowie Säuren Kataphorese im umgekehrten Sinne zeigten.

Hierbei trat in den letzteren noch ein sekundäres Phänomen auf, welches nach diesem Beobachter „Hittorfsches Schlierenphänomen" genannt wird: bei entsprechender Beleuchtung wurden nämlich in der Nähe der Membran von derselben ausgehende Schlieren sichtbar, deren Entstehung Hittorf darauf zurückführt, daß bei der elektrischen Endosmose die Lösung in einen konzentrierteren, mit der Flüssigkeitsströmung durch die Membran übertretenden, und in einen verdünnteren, vor der Membran zurückbleibenden Teil gespalten wird.

Weitere Einzelheiten lieferten die an Goldschlägerhaut angestellten Versuche Curios.[1]) Sie erwiesen die Existenz des Phänomens auch für die Salze der Alkalien und bewiesen, daß diese Erscheinung nicht, wie Hittorf meinte, bei stärkeren Konzentrationen aufhört, sondern daß zur Ausbildung derselben in konzentrierteren Lösungen nur entsprechend längere Stromdauer erforderlich ist. Dies dürfte sich, nebstbei bemerkt, aus der Regel Van der Vens (§ 53) erklären, daß die durch einen gegebenen Strom übergeführte Lösungsmenge der Konzentration angenähert umgekehrt proportional ist, was mit der Gestalt der Formel (23) zusammenhängt.

Im übrigen erscheint jedoch die Natur jenes Phänomens noch immer nicht aufgeklärt; die Sache ließe sich auf eine gewisse Halbdurchlässigkeit der Membran zurückführen, falls die konzentriertere Lösung sich vor derselben anhäufen und die verdünntere durch dieselbe hindurchtreten würde. Nun ist aber in der Regel das Umgekehrte der Fall, gleichsam als ob die Membran ein spezielles Adsorptionsvermögen für die gelösten Substanzen besitzen würde.

§ 43. Elektrostenolyse. Coehn[2]) erklärt auch das Zustandekommen der Abscheidung von Metallen in Kapillarspalten einer in gewissen Elektrolyten (z. B. $AgNO_3$-Lösung) befindlichen trennenden Wand — welche von Braun[3]) entdeckt und mit dem Namen Elektrostenolyse belegt wurde — auf Grundlage der elektrosmotischen Erscheinungen. Handelt es sich z. B. um einen feinen Sprung eines Reagenzröhrchens, welches innen die Kathode enthält, außen der Anode gegenübersteht, so entsteht in diesem Spalt eine Verschiebung der positiven der Flüssigkeit angehörenden Belegung der Doppelschichte von außen nach innen. Der äußere Spaltrand bildet eine Austrittstelle von positiven Ionen, also Kathode, der innere fungiert als Anode. An ersterem kann es also zur Abscheidung einer minimalen Metallmenge kommen, doch wird dieselbe unter gewöhnlichen Umständen unsichtbar bleiben, da sie einen Mittelleiter bilden wird, der auf der einen Seite ebensowohl wächst, als er auf der anderen Seite abnimmt. Nur dann wird die abgeschiedene Menge beträchtlich anwachsen können, wenn die kathodische Abscheidung ohne entsprechende anodische Auflösung erfolgt, und zwar findet das statt, wenn

a) das negative Radikal das abgeschiedene Metall nicht angreift (Platinsalze, Goldchlorid),

b) sich unlösliche Verbindungen an der Anode bilden, z. B. Superoxyde ($AgNO_3$, $Pb(NO_3)_2$, $Pb(CH_3CO_2)_2$),

c) bei Oxydsalzen, deren Anion auf die Lösung unter Bildung einer höheren Oxydationsstufe einwirken kann (Cu_2Cl_2, $FeSO_4$, $CoSO_4$).

[1]) O. Curio, Über elektr. Osmose, Diss. Münster 1908.

[2]) A. Coehn, Ztschr. f. phys. Chem. **25.** 651. 1898; eine andere Erklärung gibt H. Freundlich, Kapillarchemie. 1909. p. 250.

[3]) F. Braun, Wied. Ann. **42.** 450. 1891; **44.** 470. 1891.

C. Abhängigkeit der Doppelschichte von der chemischen Natur der Stoffe.

I. Resultate elektrosmotischer Untersuchungsmethoden.

§ 44. Einheitliche Stoffe, ältere Resultate. Insoweit haben wir bloß die rein formalen Gesetze der elektrosmotischen Erscheinungen betrachtet und haben dabei die Doppelschichttheorie in allen Punkten bestätigt gefunden, welche bisher einer experimentellen Kontrolle unterzogen worden sind. Nun wollen wir zu den Betrachtungen übergehen, welche die Abhängigkeit dieser Erscheinung von der Natur der Flüssigkeit und der daran grenzenden festen Wand betreffen.

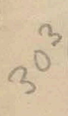
Unter den älteren Arbeiten sind hier insbesondere die § 5—7 referierten Arbeiten von QUINCKE in Betracht zu ziehen, welche zeigten, daß Wasser in Berührung mit den verschiedensten Substanzen sich immer im Sinne des positiven Stromes bewegt, also eine positive Ladung besitzen muß, während die Wand negativ geladen ist. Auch reiner Alkohol verhält sich analog.

Dagegen wird Terpentinöl gegenüber jenen Substanzen in der Regel umgekehrt übergeführt, nur gegenüber Schwefel verhält es sich so wie Wasser.

Bemerkenswert ist, daß Wasser in Berührung mit Eis negativ elektrisch wird; dies beweisen die von SOHNCKE[1]) angestellten Versuche über Strömungsströme in Eiskapillaren, sowie auch Versuche von ELSTER, analog den im § 36 beschriebenen, in welchen ein Wasserstrahl auf eine Eisplatte auffiel.

§ 45. Coehns qualitative Regel. Der einzige Versuch, eine ganz allgemeine Regel für die Potentialdifferenz der Doppelschichten verschiedener Stoffe aufzustellen, stammt von COEHN[2]). Dieser Autor stellte, gestützt auf die eben besprochenen Resultate, sowie auf Versuche verschiedener Beobachter über Elektrizitätserregung bei Reibung fester Stoffe[3]) die Regel auf: „Stoffe von höherer Dielektrizitätskonstante laden sich positiv bei Berührung mit Stoffen von niederer Dielektrizitätskonstante". Das entgegengesetzte Verhalten von Wasser ($K = 81$), Alkohol ($K = 26$) einerseits, Terpentinöl ($K = 2{,}2$) andererseits, gegenüber den meisten Substanzen würde sich demnach aus den extremen Werten ihrer Dielektrizitätskonstanten erklären, ebenso daß Schwefel ($K = 2{,}0$) in diesen Flüssigkeiten sich gleich verhält.

Zur Kontrolle führte COEHN eine Reihe von weiteren qualitativen Versuchen mit verschiedenen Flüssigkeiten in Glasröhren aus, deren Wand infolge Erhitzens und Eintauchens in Wasser von zahlreichen Sprüngen durchsetzt war, und so als Diaphragma dienen konnte. Als Stromquelle wurde ein Induktorium verwendet, und der elektrosmotische Vorgang wurde an der Niveauänderung der eingebrachten Flüssigkeit verfolgt. In anderen Versuchen wurde das Diaphragma in der Weise gebildet, daß Glas- oder Schwefelpulver in ein Röhrchen eingestampft wurde. So ergab sich folgende Tabelle, wo die Zeichen + oder — den Sinn der Ladung gegen den festen Körper bedeuten ~~(siehe die Tabelle auf nächster Seite)~~:



Im ganzen stimmte also die Regel und es ist möglich, daß die wenigen Abweichungen auf Verunreinigungen u. dergl. beruhen. Die Art des Glases schien gleichgültig zu sein, mit Ausnahme gegenüber Propionsäure, woraus COEHN schließt, daß K für die verwendeten Glassorten 5,5—6,16 betragen habe. Auch wurde Kataphorese von Tröpfchen einer Flüssigkeit in einer anderen beobachtet, und daraus ergab sich für Terpentin, Schwefelkohlenstoff, Äther, Nitrobenzol negative Ladung gegen Wasser, ebenso auch für Nitrobenzol gegen Glyzerin.

[1]) L. SOHNCKE, Wied. Ann. **28**. 550. 1886.
[2]) A. COEHN, Wied. Ann. **64**. 217. 1898.
[3]) Insbesondere handelt es sich um die von RIESS, RIECKE, RITTER, HOORWEG angegebenen „Spannungsreihen" fester Dielektrika.

	K	Glas	Schwefel		K	Glas	Schwefel
Wasser	80,9	+	+	Amylformiat	7,7	+	+
Glyzerin	56,2	+	+	Anilin	7,22	+	+
Nitrobenzol	32,2	+	+	Äthylacetat	6,16	+	−
Methylalkohol	32,6	+	+	Propionsäure	5,50	−	+
Äthylalkohol	25,8	+	+	Äthylbutyrat	5,3	+	+
Propylalkohol	22,8	+	+	Amylacetat	5,2	+	
Allylalkohol	21,6	+	+	Chloroform	5,02	−	−
Aceton	21,8	+	+	Äthyläther	4,25	−	+
Aldehyd	18,6	+	+	Buttersäure	3,16	−	
Amylalkohol	16,0	+	+	Valeriansäure	3,06	−	
Benzoldehyd	14,5	+	+	Schwefelkohlenstoff	2,63	−	
Essigsäure	9,7	+	+	Xylol	2,57	−	?
Äthylformiat	9,1	+	+	Toluol	2,36	−	?
Äthylbromid	8,9	+	+	Benzol	2,25	−	?
Methylacetat	7,7	+		Terpentinöl	2,23	−	−

303

§ 46. Coehns quantitatives Ladungsgesetz. Schon in dieser Arbeit bemerkt Coehn mit Rücksicht auf die früher zitierten Versuche von Tereschin (§ 5), daß sein Ladungsgesetz auch quantitative Gültigkeit haben dürfte, und dieser Gedanke wird in einer nachfolgenden, im Verein mit Raydt ausgeführten Arbeit[1]) in der Form ausgesprochen: „Bei der Berührung der Dielektrika ladet sich der Stoff mit höherer DK. positiv gegen den Stoff mit niedrigerer DK. Die entstehende Potentialdifferenz ist proportional der Differenz der DK. der sich berührenden Stoffe".

Als Grundlage diente hierzu eine systematische Untersuchung der Steighöhen von 24 Flüssigkeiten nach der Quinckeschen Steighöhenmethode. Benutzt wurde ein ziemlich komplizierter Apparat mit getrennter Überführungskapillare und Steighöhenkapillare; letztere blieb mit einer und derselben Flüssigkeit (Methylalkohol) gefüllt, wodurch der Einfluß der Verschiedenheiten der Oberflächenspannung beseitigt war, während die Überführungskapillare samt den beiderseitigen weiteren Anschlußgefäßen, durch ein mit Quecksilber gefülltes weites U-Rohr getrennt, mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt wurde.

304

Um Verunreinigungen zu verhüten, wurde für jede Flüssigkeit eine eigene Überführungskapillare verwendet, und es wurden jedesmal zwei Vergleichsversuche mit Aceton angestellt. Eigentümlich ist die Kürze der benutzten Kapillaren[2]) (etwa 5 mm lang, 0,13—0,55 mm weit); die Spannung (440 Volt) wurde durch Platindrähte, welche sich zu beiden Seiten der Kapillare befanden, zugeführt.

Um das ausgesprochene Gesetz zu begründen, verfahren die Verfasser derart, daß sie es als gültig annehmen und daraus die Dielektrizitätskonstanten K_x der angewandten Flüssigkeiten berechnen, indem die relativen, auf Azeton bezogenen Steighöhen h/h_0 als Maß der Potentialdifferenzen angesehen werden:

$$\frac{h_x}{h_0} = \frac{\varphi_x - \varphi_{\text{Glas}}}{\varphi_0 - \varphi_{\text{Glas}}} = \frac{K_x - K_{\text{Glas}}}{K_0 - K_{\text{Glas}}}$$

Da der Wert K_0 für Azeton selbst weniger genau bekannt ist als jener für Wasser, wurde derselbe aus Beobachtung der relativen Steighöhen im Vergleich mit Wasser bestimmt, so daß sich die Schlußformel ergab:

$$K_x = \frac{h_x}{h_0}\frac{h_0}{h_w}[K_w - K_{\text{Glas}}] + K_{\text{Glas}}$$

worin $K_w = 81$, $h_0 = 60$, $h_w = 210$, $K_{\text{Glas}} = 6 \cdot 0$.

[1]) A. Coehn u. U. Raydt, Ann. d. Phys. 30. 777. 1909.

[2]) Dies scheint mir ein etwas bedenklicher Umstand zu sein, da das starke Potentialgefälle eine Fehlerquelle mit sich bringen könnte: es mußten nämlich gleichzeitig an der Oberfläche Flüssigkeit—Glas statische Ladungen bestehen, da das Potential des umgebenden Thermostaten auf dem Potential der einen End-Elektrode gehalten wurde.

Die zweite Kolonne der nachstehenden Tabelle gibt die derart aus den beobachteten h_x berechneten Resultate, welchen in Kolonne 3 die anderweitig bestimmten Werte von K_x gegenüberstehen.

	h_x	K_x ber.	K_x gem.	$\frac{\varphi_x - \varphi_a}{\varphi_0 - \varphi_a}$
Wasser	+ 210	81	81	1,14
Nitromethan	+ 70	31	56	0,55
Nitrobenzol	+ 88,5	37,6	37,2	1,05
Acetonitril	+ 106	43,6	36,4	1,31
Methylalkohol	+ 80	34,5	34	1,03
Nitroäther	+ 37,75	19,5	29	0,57
Nitrotoluol	+ 51	24,2	27	0,83
Aceton	+ 60	27,5	26,5	1,00
Acetylaceton	+ 57	26,5	26	0,97
Äthylalkohol	+ 58	26,6	25,5	1,01
Propylalkohol	+ 48	23,2	22,4	0,94
i Butylalkohol	+ 29,5	16,5	18,75	0,69
Acetophenon	+ 37	19,2	18,6	0,88
Methyläthylketon	+ 38	19,6	18,4	0,91
Äthylnitrat	+ 35	18,6	17,7	0,87
Methylpropylketon	+ 34	18,2	16,75	0,90
Benzaldehyd	+ 19	12,8	14	0,60
Pyridin	+ 14,4	11,3	12,4	0,51
Äthylenchlorid	+ 11,6	10,2	11,1	0,46
Methylacetat	+ 9,5	9,4	8,0	0,52
Anilin	+ 7,8	8,8	7,3	0,47
Chloroform	− 1,67	5,4	5,18	− 0,14
Äthylenbromid	− 2,95	4,95	4,87	− 0,27
Benzol	− 8,9	2,8	2,4	− 1,64

§ 47. Berichtigte Gestalt des Ladungsgesetzes. Die Zahlen der zweiten und dritten Kolonne zeigen mit gewissen Ausnahmen allerdings eine auffallende Übereinstimmung, was die Verfasser als Beweis des obigen Satzes ansehen. Doch bemerken wir, daß die theoretische Grundlage dieser Überlegungen einer Revision bedarf, indem COEHN und RAYDT die Formel (17) in ihrer ursprünglichen, von HELMHOLTZ angegebenen Gestalt anwenden, welche den Faktor K nicht enthielt. HELMHOLTZ ist hier zweifellos ein Versehen untergelaufen, und eine richtige Berechnung muß dem Einfluß der Dielektrizitätskonstanten in der im § 11 angegebenen Weise Rechnung tragen.

Wird aber die berichtigte Formel (17) angewendet, so ergeben sich die in der vierten Kolumne angeführten relativen Werte des Potentialsprunges $\varphi_i - \varphi_a$ (bezogen auf $\varphi_i - \varphi_a$ für Azeton = 1, da leider die Daten zur Berechnung der absoluten Werte nicht genügen). Anstatt der in ihrer Größenordnung für die verschiedenen Flüssigkeiten so weit auseinanderliegenden, für Glas — Wasser bis über 5 Volt betragenden Potentialdifferenzen, deren Größe schon manchen Autoren Bedenken einflößte[1]), muß man also tatsächlich für die verschiedensten Flüssigkeiten in Berührung mit Glas Potentialsprünge der gleichen Größenordnung (von etwa 0,05 Volt) annehmen.

Dasselbe betrifft auch weitere Messungen der Verfasser, in welchen Mischungen von Azeton-Benzol und Azeton-Methylazetat angewendet wurden, sowie jene in welchen die Temperaturabhängigkeit der Steighöhe von Azeton und Wasser[2]) (für Temperaturen von 0—35°) bestimmt wurde.

Nebstbei wurde bemerkt, daß Quarz ungefähr dieselben Steighöhen gibt wie Glas, sowie daß auch in einer Diamantkapillare ($K = 6{,}5$ bis 7) Wasser, Azeton, Methyläthylketon und Methylacetat positive Werte von ähnlicher Größe wie in Glas, Chloroform geringe negative Werte aufwiesen.

[1]) Siehe z. B. A. CAMERON u. E. ÖTTINGER, Phil. Mag. **18.** 586. 1909.

[2]) Das in § 44 angegebene Verhalten von Wasser gegen Eis scheint der COEHNschen Regel zu widersprechen, da Eis ein $K = 3$ besitzt. COEHN beseitigt jedoch diese Schwierigkeit durch die Bemerkung, daß sich in diesem Falle nur wärmeres Wasser an der dem Eise anhaftenden Wasserschicht von 0° reibe; so stimmt das Vorzeichen mit der COEHNschen Regel, da die Dielektrizitätskonstante des Wassers mit Temperaturabnahme wächst.

Nach alledem würde aus den Arbeiten von Coehn und Raydt hervorgehen, daß der erste Teil des Ladungsgesetzes, betreffend den Sinn der Potentialdifferenz der Doppelschicht, auf tatsächlicher Grundlage beruht; das quantitative Ergebnis derselben wäre jedoch dahin auszusprechen, daß die Differenz der D.K. die Größe der Aufladung bestimmt, oder daß der Wert des Potentialsprunges in allen Fällen von ungefähr derselben Größenordnung ist.

Auch der erste Teil des Ladungsgesetzes kann jedoch auf keinen Fall Allgemeingültigkeit beanspruchen, denn Untersuchungen, welche im folgenden näher besprochen werden sollen, haben gezeigt, daß minimale Zusätze von Säuren, Salzen u. dergl., welche die Dielektrizitätskonstante nicht merklich beeinflussen können, schon genügen, um den Sinn der Doppelschichtladung umzukehren. Coehn selber schränkt die Gültigkeit jener Regel auf „Dielektrika" ein. Doch bedarf dieser Begriff wohl noch der Präzisierung durch weitere Untersuchungen.

§ 48. Lösungen, Zusammenstellung älterer Versuche. Daß der Potentialsprung der Doppelschicht für Lösungen verschieden ist von jenem des Wassers und daß er von der Konzentration abhängt, ging schon aus den Messungen von Wiedemann und Freund für Tondiaphragmen hervor.

Helmholtz (loc. cit.) benutzte die Angaben Wiedemanns, um die betreffenden Werte für sehr verdünnte Lösungen von H_2SO_4, $CuSO_4$, $Cu(NO_3)_2$, $AgNO_3$ zu berechnen, wobei sich mit Berücksichtigung des Faktors K Potentialdifferenzen von etwa 0,005 Volt bis 0,023 Volt ergeben. Die Anführung der Zahlen mag wohl unterbleiben, da ihre Genauigkeit ziemlich problematisch ist; insbesondere die als Maß der Zähigkeit angesehenen Ausflußzeiten erscheinen recht unwahrscheinlich.

In ähnlicher Weise hat Dorn (loc. cit. § 26) die Versuche Freunds verwertet, um jene Größe für ziemlich konzentrierte $ZnSO_4$-Lösungen zu berechnen. Es zeigt sich, daß in diesem Falle die Potentialdifferenz mit der Konzentration zunimmt, indem dieselbe für eine beiläufig 9 %ige Lösung 0,014 Volt, für eine 26 %ige Lösung 0,031 Volt beträgt. Mithin müßte in größerer Verdünnung ein Minimum bestehen.[1]

Auch die Angaben Saxéns ließen sich bei Benutzung anderweitiger Bestimmungen von σ und η in analoger Weise verwerten.

Daß schon sehr geringe Zusätze von Elektrolyten unter Umständen einen großen Einfluß auf die elektromotorischen Erscheinungen ausüben, erwiesen die im § 33 erwähnten Versuche von Zakrzewski[2]) über Strömungsströme, die durch Wasser oder wässerige Lösungen von $AgNO_3$ in versilberten Glasröhren erzeugt wurden. Es zeigte sich, daß in Lösungen von über $^1/_{3000}$ normaler Konzentration der Strömungsstrom der Wasserbewegung entgegengesetzt ist, daß also die Flüssigkeit in stärker konzentrierten Lösungen gegenüber der Wand negativ geladen ist. Dagegen verhielten sich konzentrierte Ag_2SO_4 und $AgCH_3CO_2$ Lösungen wie reines Wasser.

§ 49. Perrins Versuche. Eine grundlegende systematische Untersuchung dieser Verhältnisse verdankt man Perrin.[3] Er benutzte hierzu einen Apparat, dessen Hauptteil ein U-Rohr mit einem zerlegbaren Schenkel war. In dem letzteren wurde aus fein pulverisiertem, mit der Flüssigkeit zu einem Brei verrührten Material ein Diaphragma hergestellt (von etwa 10—12 cm Dicke), und mittels beiderseits eingeschmolzenen Elektroden wurde ein Spannungsgefälle, meist 10 Volt/cm, erzeugt. Die elektrosmotische Überführung der das ganze Gefäß ausfüllenden Flüssigkeit machte sich an dem Vorrücken des Meniskus in einer seitlich fast horizontal angebrachten Kapillare kenntlich, die in 0,01 cm³ eingeteilt war. Nach Formel (23) ist das in einem gegebenen Zeit-Intervall übergeführte Volumen von den Dimensionen des Diaphragmas unabhängig und proportional dem Koeffizienten $K(\varphi_i - \varphi_a)/\eta$.

---

1) Vgl. die Versuche von Riéty § 53.
2) C. Zakrzewski, Krak. Anz. 1900. p. 224; Phys. Ztschr. 2. 146. 1900.
3) J. Perrin, Journ. d. Chim. Phys. 2. 601. 1904; 3. 50. 1905.

Perrin kam vor allem zu dem Schlusse, daß eine merkliche Überführung bei Anwendung beliebiger Diaphragmen nur bei Wasser, Methylalkohol, Äthylalkohol, Aceton, Acetylaceton, Nitrobenzol, stattfindet, daß sie dagegen bei Chloroform, Äther, Petroleum, Benzol, Terpentinöl, Schwefelkohlenstoff selbst bei 9 mal so starkem Potentialgefälle unmerklich ist. Da die Flüssigkeiten der ersten Kategorie alle ein elektrolytisches Ionisationsvermögen besitzen, schließt Perrin, daß diese Eigenschaft für die Elektrosmose maßgebend ist.

Dagegen würden sich die Unterschiede nach den früher genannten Arbeiten ganz auf den Einfluß des Faktors K zurückführen lassen.

§ 50. Einfluß der H- und OH-Ionen. Nun ging Perrin an die Untersuchung der verschiedensten verdünnten wässerigen Lösungen. Es zeigte sich vor allem, daß schon außerordentlich geringe Zusätze von Säure oder Alkali den Sinn der Elektrosmose durch ein Kohlediaphragma positiv oder negativ machen, und ähnlich verhielten sich auch Diaphragmen aus anderen Stoffen. Schwach alkalische Lösungen gaben positive Überführung (gegen die Kathode zu), schwach saure im entgegengesetzten Sinne, wenn Diaphragmen von folgenden Stoffen angewendet wurden: Al_2O_3, Cr_2O_3, CoO, NiO, ZnO, CuO, $ZnCO_3$, ZnS, $BaSO_4$, AgCl, $CrCl_3$, C, S, B_2O_3, Karborundum, Naphtalin, Salol, Gelatine.

Die quantitativen Angaben sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt; dabei ist in der ersten Reihe die Substanz des Diaphragmas, in der zweiten und dritten die Konzentration (in g-Molekülen pro Liter) und Art der Lösung, in der vierten das pro Minute übergeführte Flüssigkeitsvolum (in mm³) angegeben. Das vorgesetzte Zeichen bedeutet den Sinn der Elektrosmose, also zugleich auch das Zeichen der Ladung der Flüssigkeit.[1])

Al_2O_3	0,002	HNO_3	−110	S	0,02	HCl	− 22
	0,0004	HCl	− 70		0,002		0
	0,002	NaOH	+ 55		0,002	KOH	+ 65
	0,004		+ 90		0,02		+ 92
$C_{10}H_8$	0,02		− 38	Salol	0,02		− 18
(Naphthalin)	0,01	HCl	− 39		0,002	HCl	0
	0,001		− 28		0,0001		+ 10
	0,0002		− 3		0,0025	KOH	+ 50
	0,0002		+ 29		0,02		+ 65
	0,001	KOH	+ 60	Karborundum	0,02		− 10
	0,02		+ 60		0,008	HCl	0
$CrCl_3$	0,001	HCl od. HBr etc.	− 95		0,002		+15
	0,002	KOH, LiOH etc.	+ 85		0,000	H_2O	+ 50
AgCl	0,002	HCl	− 30		0,0002	KOH	+ 60
	0,002	KOH	+ 85		0,002		+105
$BaSO_4$	0,002	HCl	− 9	Gelatine	0,02	HCl	− 22
	0,004	KOH	+ 7		0,01	KOH	+ 35
B_2O_3	Gesättigte	Lös. m. Spur HCl	− 2	Cellulose	0,033	HCl	0
	,,	,, neutral	+ 10		0,002		+ 20
					0,002	KOH	+ 70

Jodoformdiaphragmen gaben immer positive Überführung, auch in 0,033 HCl-Lösungen. Leider war die Stromstärke nicht gemessen worden, so daß sich die absoluten Werte $(\varphi_1 - \varphi_a)$ nicht berechnen lassen; die Zahlen der vierten Reihe sind also nur ein sehr ungefähres Maß der Relativwerte der Potentialdifferenz. Auch ist Glas nicht untersucht worden, so daß man die Zahlen auch nicht an die mit Glaskapillaren von anderen Beobachtern gewonnenen Werte anschließen kann.

Ein gemeinsamer Zug dieser verschiedenen Beobachtungen ist die rasche Veränderlichkeit des Potentials in der Nähe des Neutralitätspunktes; dagegen würde es scheinen, als ob dasselbe in konzentrierteren Lösungen einem konstanten Wert zustreben würde (vgl. Naphtalin).

[1]) Bei Perrin sind die Zeichen umgekehrt, da er mit denselben den Ladungssinn der Wand bezeichnet.

Da Perrin durch Versuche mit einem $CrCl_3$-Diaphragma feststellte, daß Zusätze einwertiger Säuren wie HCl, HBr, HNO_3, CH_3COOH, $CH_2ClCOOH$, CCl_3COOH in gleicher Weise wirken, indem sie negative Überführung hervorrufen, andererseits daß einwertige Basen, wie KOH, NaOH, LiOH, NH_4OH, sämtlich positive Überführung bewirken, während 0,01 normale Lösungen von Salzen wie NaBr, KBr, KJ, NaJ, KNO_3 überhaupt keine merkliche elektrosmotische Wirkung haben, so schließt er, daß es bei dieser Erscheinung vor allem auf den Gehalt an H- und OH-Ionen ankommt, während andere einwertige Ionen sehr wenig wirksam sind.

Nun zeichnen sich diese Ionen vor den anderen durch ihre große elektrolytische Wanderungsgeschwindigkeit aus, daher sind ihre Dimensionen wahrscheinlich kleiner als jene der übrigen Ionen. Perrin meint, einen Gedanken von Langevin weiter ausführend, daß dies ihre elektrosmotische Wirksamkeit erkläre; denn die Schwerpunkte der kleinen +H, −OH-Ionen werden beim Kontakt mit einer festen Wand derselben näher stehen als dies für größere Ionen der Fall ist. Daher wird für die Ladung der unmittelbar der Wand anliegenden Flüssigkeitsschicht der Gehalt an H, OH-Ionen maßgebend sein: in einer alkalischen Lösung wird sie negativ geladen sein, während die weiter entfernten Schichten eine äquivalente positive Ladung enthalten, und die Flüssigkeit wird infolgedessen eine „normale" Überführung im Sinne des Stromes erfahren. Daß Wasser in Glasröhren sich in dieser Weise verhält, rührt nach Perrin eben davon her, daß es durch Hydrolyse des Glases an der Oberfläche desselben alkalisch wird[1].

§ 51. **Einfluß mehrwertiger Ionen.** Hierauf geht Perrin zur Untersuchung des Einflusses mehrwertiger Ionen auf diese Erscheinungen über. Es zeigte sich, daß die Elektrosmose einer mit H_2SO_4 angesäuerten Lösung durch ein $CrCl_3$ Diaphragma viel geringer war als für Lösungen einwertiger Säuren. Dagegen war die Elektrosmose einer alkalischen Lösung ganz unabhängig von einem eventuellen Gehalt an K_2SO_4. Perrin schließt also, daß das zweiwertige Ion SO_4 — — die Wirkung des entgegengesetzten Ions H + paralysiert, aber jene des gleichnamigen Ion OH − nicht verstärkt.

Diese Bemerkung verallgemeinert er sodann durch Beobachtung einer größeren Anzahl gemischter Lösungen und schließt allgemein: Handelt es sich um eine Flüssigkeit, welche der Wand eine Lösung von gewissem Zeichen erteilt, so vermindert sich diese Ladung bedeutend infolge Zusatz eines mehrwertigen Ions von entgegengesetztem Zeichen; mitunter kann sogar Umkehr des Ladungssinnes eintreten. Dabei wächst der Einfluß der Ionen sehr stark mit deren Wertigkeit.

Aus dem Zahlenmaterial seien nur einige Beispiele angeführt, die sich auf ein $CrCl_3$-Diaphragma beziehen:

1. Zweiwertiges Anion SO_4 — —

0,005	KOH			+ 84
0,005	KOH	0,002	H_2SO_4	+ 84
0,001	HNO_3			− 85
0,001	H_2SO_4			− 21
0,001	HCl			− 86
0,001	HCl	0,0002	$KHSO_4$	− 25
0,001	HNO_3			− 88
0,001	HNO_3	0,001	$MgSO_4$	− 23
0,001	HNO_3	0,01	$CdSO_4$	− 4

2. Vierwertiges Anion $FeCy_6$ — — — —

0,001	HCl			− 86
0,001	HCl	0,0005	K_4FeCy_6	− 1,5

3. Zweiwertiges Kation Ca + +

Schwach angesäuertes Wasser:	− 41
dasselbe mit 0,002 $Ca(NO_3)_2$	− 41,5
0,005 KOH	+ 86
0,005 KOH 0,002 $Ca(NO_3)_2$	− 6

[1]) Auch sonst würde das Verhalten des Glases mit den von Perrin untersuchten Stoffen übereinstimmen, denn es ist bekannt, daß die positive Überführung des Wassers (in Kontakt mit Glas) bei Ansäuerung desselben stark abnimmt, dagegen durch Zusatz von KOH nur wenig vergrößert wird. (Vgl. z. B. A. Coehn u. U. Raydt, Ann. d. Phys. **30.** 793, 1909; A. Cameron u. E. Öttinger, Phil. Mag. **18.** 586. 1909.)

194

←Ferner ein mit dem Karborundum-Diaphragma ausgeführter Versuch:

4. Dreiwertiges Kation La +++

0,0002	KOH		+ 60
0,0002	KOH	0,00004 $La(NO_3)_3$	+ 58
0,0002	KOH	0,0002 „	+ 18
0,0002	KOH	0,001 „	+ 0,7
H_2O		0,001 „	− 5
0,001	HCl	0,001 „	+ 0,2
0,002	HCl	0,001 „	− 2

Auch einwertige Ionen üben übrigens einen analogen Einfluß aus, indem sie die durch H- oder OH-Ionen hervorgerufenen Erscheinungen behindern, und müssen in weit größeren Mengen zugesetzt werden als mehrwertige Ionen, wie das nachfolgende Beispiel zeigt:

$CrCl_3$-Diaphragma;	0,002	KOH		+ 105
	0,002	KOH	0,1 NaBr	+ 24
	0,002	HCl		− 100
	0,002	HCl	0,1 KBr	− 35

Freundlich[1]) extrapoliert nach Perrins Angaben die Konzentrationen (in Millimol pro Liter) der verschiedenartigen Elektrolyten, welche zu einer schwach sauren, bzw. alkalischen Flüssigkeit zugesetzt werden müssen, um deren Überführung gerade auf die Hälfte herabzusetzen.:

312

Karborundum in schwach alkal. Lösung		Chromchlorid in schwach saur. Lösg.	
NaBr . . .	0,05	KBr	0,06
$Ba(NO_3)_2$ . .	0,002	$MgSO_4$ . . .	0,001
$La(NO_3)_3$ . .	0,0001	$K_3Fe(Cy)_6$ . .	0,0001

(3) 4

Die Zahlen illustrieren wohl am besten den Einfluß der Wertigkeit; sie dürfen jedoch nicht verallgemeinert werden, da die Verhältnisse je nach der Art des angewandten Diaphragmas und der Konzentration der Grundlösung verschieden sein können.

Was nun die Erklärung dieses Einflusses der zugesetzten Ionen anbelangt, so meint Perrin, daß dieselben durch die entgegengesetzt geladenen Ionen H oder OH bis an die Wand mitgeführt werden und daselbst deren Ladung kompensieren; worauf jedoch der Einfluß der Valenz beruht, versucht er nicht näher aufzuklären.

§ 52. Vergleich zwischen Perrins und Coehns Resultaten. Perrins Untersuchungen haben unzweifelhaft viel neues zur Aufklärung der ganzen Frage beigetragen, obwohl gegen einzelne Punkte manche Einwendungen erhoben werden könnten. So z. B. dürften manche der benutzten Diaphragmen erhebliches Leitvermögen besitzen, was die Anwendung der Helmholtzschen Formeln zweifelhaft erscheinen läßt.

Auffallend ist der Kontrast zwischen Perrins und Coehns Resultaten. Perrin neigt der Meinung zu, daß die Art der Wandsubstanz im Grunde genommen gleichgültig ist, daß in reinem Wasser ein jeder Stoff neutral sei, und daß die Ausnahmen hiervon auf sekundären Einflüssen, insbesondere auf einem gewissen Grad von Löslichkeit der Wandsubstanz (z. B. Glas), beruhen.

Nach Coehn hingegen wäre die Dielektrizitätskonstante der Wand und der Flüssigkeit für das Zeichen der Doppelschicht maßgebend. Es wäre möglich, daß sich beide Anschauungen bis zu einem gewissen Grade vereinigen lassen, daß nämlich für reine Flüssigkeiten die Ansicht Coehns die richtige ist, während sonst der enorme Einfluß der Konzentration der H- und OH-Ionen, sowie der Wertigkeit anderer Ionen, durch Perrin sowie auch andere Forscher heute als sichergestellt zu betrachten ist.

[1]) H. Freundlich, Kapillarchemie 1909. p. 238.

Trotzdem verbleiben dann noch zahlreiche Widersprüche zwischen beiden Untersuchungen, deren Aufklärung dringend erwünscht ist. So konnte Perrin bei gewissen Flüssigkeiten (Terpentinöl, Chloroform) keine Überführung konstatieren, bei denen andere Beobachter (Quincke, Coehn) solche deutlich wahrnahmen. Andererseits scheint Coehns Regel mit jenen Beobachtungen Perrins in Widerspruch zu stehen, denen zufolge reines Wasser in Aluminiumoxyd[1]), Chromchlorid, Baryumsulfat-Diaphragmen negative Überführung zeigen sollte. Oder sollten diese Stoffe ein größeres K besitzen als Wasser?

§ 53. Andere Versuche über Einfluß der Konzentration wässeriger Elektrolyte, Cameron u. Öttinger, V. d. Ven, Riéty. Quantitative, mit Perrins Schlüssen übereinstimmende Resultate haben in einem bestimmten Falle Cameron und Öttinger[2]) bei Versuchen über Strömungsströme erhalten. Die mit verdünnten wässerigen Lösungen von HCl, CH_3COOH, NH_4OH, KOH, KCl in Glaskapillaren ausgeführten Messungen gaben sehr schwankende Resultate, jedoch deutlich höhere in alkalischen als in sauren Lösungen.

Im Mittel nehmen die Verfasser als Wert des Potentialsprunges für $^1/_{5000}$—$^1/_{2500}$ normale saure Lösungen den Wert 4—4,5 Volt, für alkalische 5,5 Volt an. Dabei benutzten sie jedoch die Formel (22), ohne den Faktor K einzuführen. Wird dieselbe durch dessen Einführung korrigiert, so folgt daraus für Glas-alkalische Lösung: $\varphi_i - \varphi_a = +0{,}069$ Volt, für Glas-saure Lösung: $\varphi_i - \varphi_a = +0{,}050$ Volt. Hierauf kommen wir noch im § 70 zurück.

Auf Salzlösungen von stärkerer Konzentration (etwa 0,1—1 norm.) beziehen sich die elektrosmotischen Überführungsversuche von V. d. Ven[3]). Derselbe findet, daß die durch Tondiaphragmen übergeführte Lösungsmenge proportional ist dem Verhältnis der Stromstärke zu der pro Volumeinheit der Lösung enthaltenen Gewichtsmenge Salz. Da bei diesen Lösungen das spezifische Leitvermögen mit einiger Annäherung proportional ist der Konzentration, dividiert durch die Zähigkeit der Lösung, würde aus Formel (23) folgen, daß die Potentialdifferenz $(\varphi_i - \varphi_a)$ in diesem Bereiche von der Konzentration ziemlich unabhängig ist. Allgemeine Bedeutung dürfte jedoch jener Satz wohl nicht besitzen (vgl. § 48, 50, 62). Interessant ist, daß die Sulfate von Eisen, Nickel, Zink, Kupfer positive, dagegen die Chloride und Nitrate derselben Metalle negative Überführung aufweisen.

Konzentrationen mittlerer Größenordnung verwendete Riéty[4]) in seinen im § 30 erwähnten Versuchen über Strömungsströme, die durch $CuSO_4$-Lösungen in Glaskapillaren erzeugt wurden. Aus den Angaben dieses Verfassers ergeben sich nach Formel (22) die in der folgenden Tabelle als $\varphi_i - \varphi_a$ angegebenen Potentialsprünge:

Konzentr. gr/Liter	Normal.	E/P	$1/\sigma . 10^4$	$\varphi_i - \varphi_a$
20	$^1/_8$	0,00019	62,2	0,0017
10	$^1/_{16}$	0,00035	36,8	0,0018
5	$^1/_{32}$	0,00060	20,6	0,0017
2,5	$^1/_{64}$	0,00079	12,5	0,0014
2	$^1/_{80}$	0,0012	10,1	0,0017
1,25	$^1/_{128}$	0,0025	6,8	0,0024
1	$^1/_{160}$	0,0071	5,9	0,0058

[1]) Für Wasser in Berührung mit Tonerde ist positive Überführung sicherstehend (Wiedemann, Quincke, Cruse u. a.).

[2]) A. Cameron u. E. Öttinger, Phil. Mag. **18.** 586. 1909.

[3]) E. van d. Ven, Arch. Musée Teyler, (2). **8.** 93, 199, 363, 390, 489. (1902/03); **9.** 97, 217, 573. (1904/05); **11.** 185. (1908). Versuche über elektrische Osmose durch Tondiaphragmen wurden ferner ausgeführt von: Frazer u. Holmes, Am. Chem. Journ. **36.** 28. 1907; **40.** 319. 1908. Darnach sollte die Osmose von 0,001 norm. Lösungen der Nitrate von K, Na, NH_4, Li, Cs, Rb, Ca, Ba, Sr im umgekehrten Verhältnis stehen zur Geschwindigkeit des Kations, dividiert durch seine Wertigkeit.

[4]) L. Riéty, C. R. **152.** 1375. 1911.

Es würde also folgen, daß der Potentialsprung in verdünnter Lösung von der Konzentration abhängt und zwar mit Zunahme derselben rasch kleiner wird, jedoch in konzentrierteren Lösungen hiervon fast unabhängig wird, was mit den für Tondiaphragmen erhaltenen Resultaten V. D. VENS übereinstimmen würde.

Der auf konzentrierte Lösung bezügliche Grenzwert würde somit nur etwa $^1/_{30}$ des Normalwertes für reines Wasser betragen.

~~(Nachtrag bei der Korrektur.)~~ RIÉTY[1]) hat seine Messungen über Strömungsströme weiterhin auf noch größere Konzentrationen (bis 2 norm.) und auf eine Anzahl verschiedener Elektrolyte ausgedehnt. Aus denselben geht hervor, daß Glas gegenüber Lösungen von KCl, KNO_3, K_2SO_4, $CuSO_4$, $ZnSO_4$, KOH, HCl, H_2SO_4 eine positive, mit Zunahme der Konzentration anfangs rasch abnehmende Potentialdifferenz $(\varphi_i - \varphi_a)$ aufweist. Bei $CuSO_4$ und $ZnSO_4$ wurde ein deutliches Minimum für 0,02 norm. bezw. 0,2 norm. Konzentration beobachtet. In verdünnten Lösungen von $Cu(NO_3)_2$ treten positive, bei größerer Konzentration negative Werte auf, und hier ist ein negatives Maximum vorhanden.

Verf. interpretiert seine Resultate größtenteils im Sinne qualitativer Bestätigung der PERRINschen Regeln. Nebstbei bemerkt er (in Übereinstimmung mit anderen Beobachtern), daß die Herstellung konstanter Werte von $(\varphi_i - \varphi_a)$ ein mehrtägiges Durchströmen der angewendeten Lösung erfordert und daß schon der Durchtritt einer Luftblase durch die Kapillare genügt, um eine langandauernde Störung hervorzurufen.

Auf Diaphragmen von Gelatine, Agar, Pergamentpapier und auf verschiedene, in 0,001 bis 0,1 mol. Konzentration angewendete Elektrolyte [HNO_3, HCl, NaOH, $NaNO_3$, Na_2SO_4, NaCl, $AlCl_3$, $Al(NO_3)_3$, Na_3PO_4, $Cu(NO_3)_2$] bezieht sich eine nach der elektrosmotischen Methode (analog PERRIN, § 49) ausgeführte Arbeit von J. O. WAKELIN, BARRATT und A. B. HARRIS[2]). In allen Fällen fanden sie eine positive Überführung, mit Ausnahme von Gelatine mit HNO_3, $Cu(NO_3)_2$, $Al(NO_3)_3$, welche zur Anode überströmten. Im allgemeinen wuchs die Überführung mit der Konzentration, nur bei Agar traten Maxima für bestimmte Konzentrationen auf. Für kathodische Überführung sind zwei- und dreiwertige Anionen besonders wirksam, während zwei- und dreiwertige Kationen derselben entgegenwirken.

Letzteres Ergebnis stimmt auch mit einer früheren, analogen, an Diaphragmen aus Textilstoffen (Wolle, Baumwolle, Seide) ausgeführten Untersuchung von LARGUIER DE BANCELS[3]) überein.

§ 54. Elektrosmose sehr verdünnter Elektrolyte. ~~(Nachtrag.)~~ G. v. ELISSAFOFF[4]) hat eine durch die LEMSTRÖMschen Versuche (§ 40) angeregte elektrosmotische Methode zur Untersuchung verdünnter Elektrolyte in Anwendung gebracht. Ein teilweise mit der Flüssigkeit gefülltes Stück Kapillarröhre (aus Glas oder Quarz) wurde der Länge nach in horizontaler Richtung zwischen zwei mit einer Influenzmaschine verbundenen Elektroden angebracht, und zwar so, daß das gefüllte Ende der Anode gegenüberstand. Die Menge der Flüssigkeit, welche in bestimmter Zeit entlang der benetzten Röhrenwand zu dem anfangs leeren, der Kathode gegenüberliegenden Ende überströmte, wurde als Maß der Elektrosmose angesehen. Daraus schloß der Verfasser, auf Grund vergleichender Messungen an der Lösung und an reinem Wasser (Leitfähigkeit $K = 2 \cdot 10^{-6}$), auf die relative Größe der Potentialdifferenzen $(\varphi_i - \varphi_a)$. Beispielsweise seien hier zwei Versuche angeführt, wobei c die Konzentration in 10^{-6} Molen und v die überführte Flüssigkeitsmenge (in mm) bedeutet:

---

1) L. RIÉTY, C. R. **154**. 1215. 1411. 1912; Recherches sur la force électromotrice produite par l'écoulement, Thèse. Paris. Gauthier-Villars. 1913.
2) J. O. WAKELIN BARRATT und A. B. HARRIS, Zeitschr. f. Elektrochem. **18**. 221. 1912.
3) LARGUIER DE BANCELS, C. R. **149**. 316. 1909.
4) G. v. ELISSAFOFF, Zeitschr. f. phys. Chem. **79**. 385. 1912.

NaCl-Lösung in Glaskapillare:

c:	0	75	22,5	68,0	136	225	2240	4500	9000
v:	50	51	43	37	31	26	8	5	2

$Th(NO_3)_4$-Lösung in Quarzkapillare:

c:	0	0,36	1,0	1,9	3,8
v:	50	27	2	0	−12

Ganz erstaunlich ist die Wirkung minimaler Konzentrationen im letzten Falle; es genügte, gemäß den obigen Zahlen, ein Zusatz von 0,2 mg des (kristallwasserhaltigen) Salzes pro Liter Wasser, um die Elektrosmose auf die Hälfte herabzusetzen, und bei zehnmal größerer Konzentration trat sogar negative Überführung (gegen die Anode zu) ein.

Zu präzisen Messungen[1]) eignet sich eine solche Methode nicht, aber angesichts so kolossaler Unterschiede im Verhalten verschiedener Elektrolyte, wie sie jene zwei Beispiele zeigen, ist die Ableitung qualitativer Schlüsse aus jenen Messungen wohl berechtigt.

Die wichtigsten Ergebnisse sind folgende:

Alle untersuchten Elektrolytzusätze, mit Ausnahme der Alkalien, verminderten die kathodische Überführung bei Glas und Quarz; Alkalien erhöhten sie bei Quarz, vielleicht auch, in schwacher Konzentration, bei Glas. Kationen übertreffen an Einfluß die Anionen. Die Wirkung der Kationen der Leichtmetalle wächst mit der Wertigkeit derselben. Abnormal starke Wirkung wird von H-Ionen, besonders aber von Kationen der Schwermetalle sowie organischer Basen (Farbstoffe) ausgeübt. Salze mit Leichtmetall-Kationen und organischem Anion sind wirksamer als mit anorganischem Anion. Allgemein geht die Wirksamkeit der Ionenzusätze ganz parallel mit der anderweitig bekannten Koagulationsfähigkeit derselben. (Vgl. § 64.) Auf diesen Zusammenhang, sowie auf die Erklärungsversuche deselben werden wir später noch zurückkommen. (Vgl. § 71.)

317



Einstweilen konstatieren wir nur die Tatsache, daß Perins Regeln bezüglich des Einflusses von Elektrolyt-Zusätzen auf die elektrosmotische Doppelschicht im allgemeinen bestätigt, aber in einzelnen Details (Schwermetalle, organische Farbstoffe u. dgl.) erweitert, bzw. modifiziert worden sind.

Von Nichtelektrolyten scheinen bisher nur Zuckerlösungen genauer untersucht worden zu sein. Vgl. Öttinger § 29 ~~(Nachtrag)~~.

§ 55. Versuche mit anderen Lösungsmitteln. Von anderen Lösungsmitteln als Wasser ist bisher nur der Methylalkohol durch Baudouin[2]) eingehender studiert worden. Baudouin benutzte hierbei die Perrinsche Versuchsmethode mit Anwendung etwas größerer Potentiale und erhielt auch ganz analoge Resultate.

Methylalkohol wird in Diaphragmen von $CrCl_3$, $PbSO_4$, MnO_2 anodisch, in S, SiO_2, As_2S_3, PbJ_2 kathodisch übergeführt, ähnlich wie dies bei Wasser der Fall ist. Zusatz von H-Ionen (z. B. HCl) vermindert die kathodische Überführung. Ebenso wirken bei anodischer Überführung die Ionen CH_3O, welche in Alkoholaten dieselbe Rolle spielen wie OH-Ionen in Alkalien. Ein sehr geringer Zusatz von KCH_3O kann in diesem Falle die elektrische Endosmose ganz aufheben, in größerer Konzentration den Sinn derselben umkehren.

Zusatz polyvalenter Kationen übt wenig Einfluß aus bei Anwendung von Diaphragmen, in denen die Flüssigkeit anodisch übergeführt wird, welche also selber positive Ladung besitzen; dagegen wird die Osmose in negativen Diaphragmen stark vermindert, eventuell auch umgekehrt.

---

[1]) Die vom Verf. angenommene empirische Gleichung $\Delta v = k \log c + \gamma$ kann wohl nicht allgemein richtig sein, da sie für $c = 0$ den Wert $\Delta v = -\infty$ ergeben würde.

[2]) A. Baudouin, C. R. **138**. 898, 1165. 1904.

In analoger Weise wirken polyvalente Anionen auf positive Diaphragmen. Zusätze nicht dissoziierter Stoffe, wie Benzol, Naphthalin, Menthol, Kampfer, üben keine merkliche Wirkung aus.

Endlich ist noch eine Beobachtung von ASCOLI[1]) zu erwähnen, welcher bei Anwendung eines Diaphragmas aus Al_2O_3 für flüssiges Ammoniak schwache anodische Überführung konstatierte. Wenn in der Flüssigkeit Natrium aufgelöst war, so trat Elektrosmose im umgekehrten Sinne und in viel stärkerem Maße auf. PERRIN sieht dies als eine Bestätigung seiner Betrachtungen an, da flüssiges Ammoniak ($K = 22$) ein gut ionisierendes Lösungsmittel ist.

~~Nachträge. In einer unlängst publizierten Arbeit[2]) hat~~ GRUMBACH mittels der Methode der Strömungsströme (durch Glaskapillaren) die Abhängigkeit des elektrischen Momentes der Doppelschicht einer 0,001 norm. KCl-Lösung von der Natur des Lösungsmittels untersucht. Insbesondere handelte es sich ihm um die Änderung des Wertes $K(\varphi_i - \varphi_a)$, welche eintritt, wenn anstatt reinen Wassers wässerige Lösungen von Methyl-, Äthyl-, Isobutylalkohol oder Phenol als Lösungsmittel verwendet werden. Als Beispiel sei eine auf Methylalkohol bezügliche Tabelle angeführt, in welcher x die Anzahl Mole Alkohol pro 1000 cm³ Lösung, y die relativen Werte der Größe $K(\varphi_i - \varphi_a)$ bedeutet:

x	0	0,542	0,672	1,00	1,45	2,00	3,11
y	1	0,948	0,937	0,901	0,874	0,869	0,693

GRUMBACH findet, daß man für verdünnte Lösungen annähernd eine Kurve von der Gestalt $1 - y^2 = \lambda x^r$ erhält, und bringt dies in Zusammenhang mit theoretischen, auf Grund der Adsorptionstheorie entwickelten Spekulationen.

II. Ergebnisse der Untersuchungen über Kataphorese kolloidaler Lösungen.

§ 56. Allgemeines. Seit den Beobachtungen von BARUS und SCHNEIDER[3]), PICTON und LINDER u. a. war bekannt, daß in kolloidalen Lösungen von Arsensulfid, Tonerde u. dergl., durch welche ein elektrischer Strom geleitet wird, die gelöste Substanz in der Richtung des Stromes (bzw. in umgekehrter Richtung) wandert, und COEHN[4]) hat wohl zuerst die Ansicht ausgesprochen, daß diese Erscheinung mit der kataphoretischen Überführung kleiner suspendierter Teilchen, wie sie QUINCKE § 6 beobachtet hat, identisch ist. Nachdem es heute außer Zweifel steht, daß die sogenannten kolloidalen Lösungen aus feinen suspendierten Teilchen bestehen, können wir diese Erscheinung und die daran geknüpften Untersuchungen ohne weiteres hier einordnen.

Allerdings fallen die meisten dieser Versuche insofern außer den Rahmen der üblichen Theorie der Elektrosmose und Kataphorese, als sich diese eigentlich nur auf isolierende Wände bezieht. Der einzige theoretisch einwandfreie Weg, die elektrosmotischen Potentialdifferenzen an der Oberfläche von Leitern zu bestimmen, wäre die Beobachtung der Elektrosmose oder der Strömungsströme in Kapillarröhren, da hier der Strom entlang der Oberfläche verläuft. Derartige Versuche sind aber (mit Ausnahme § 33, 48) bis heute nicht ausgeführt worden.

---

1) M. ASCOLI, C. R. **137**. 1253. 1903.

2) A. GRUMBACH, Journ. d. phys. **2**. 283, 385. 1912; Ann. chim. phys. **24**. 433. 1911.

3) C. BARUS u. E. A. SCHNEIDER. Zeitschr. f. phys. Chem. **8**. 278. 1891. — H. PICTON u. S. E. LINDER, Journ. Chem. Soc. **61**. 148. 1892.

4) A. COEHN, Ztschr. f. phys. Chem. **4**. 62. 1897. COEHN will den Begriff der kataphoretischen Wanderung sogar auf Rohrzuckerlösungen ausdehnen: Ztschr. f. Elektrochem. **15**. 652. 1909. Siehe sonst noch Beobachtungen von W. SPRING, Bull. d. Belg. **35**. 780. 1898; ebda. 1899. p. 174; LOBRY DE BRUYN, Rec. trav. chim. d. Pays-Bas. **23**. 155. 1904.

Ob dagegen bei Versuchen, wo Diaphragmen aus leitenden Stoffen angewendet werden (QUINCKE, PERRIN) oder wo es sich um Kataphorese suspendierter Metallteilchen handelt (BURTON u. a.) tatsächlich die durch Formeln (23) und (26) dargestellten elektrosmotischen Erscheinungen rein zum Ausdruck kommen, ist von vornherein sehr zweifelhaft.

Daß insbesondere die Kataphorese leitender Teilchen in derselben Weise vor sich gehen solle wie jene von Nichtleitern, erscheint vom Standpunkt der Theorie ganz merkwürdig, denn an der Oberfläche eines solchen gut leitenden Körperchens sollten ja die elektrischen Kraftlinien beinahe senkrecht stehen, so daß nur verschwindend kleine Tangentialkomponenten auf Verschiebung der Doppelschichte hinarbeiten würden. Allerdings wäre es wohl möglich, daß die Polarisation den Stromdurchgang an der Grenzfläche Metall—Lösung vollständig verhindert, so daß sich das Teilchen verhält wie ein Nichtleiter; dann wäre es aber sehr wahrscheinlich, daß sich hier infolge Polarisationserscheinungen, Konzentrationsänderungen u. dergl. störende Nebenwirkungen geltend machen.[1])

Damit also die aus solchen Versuchen betreffs der Doppelschichte $\varphi_i - \varphi_a$ gezogenen Folgerungen als sichere Tatsache betrachtet werden können, erscheint es durchaus erforderlich, daß durch vergleichende Versuche mit Kapillarröhren die Berechtigung der kataphoretischen Methode für leitende Substanzen nachgewiesen wird.

320

Es schien uns nötig, auf diesen wichtigen Umstand hinzuweisen, welcher meistens stillschweigend übergangen wird. Mit diesem Vorbehalt wollen wir uns im Folgenden der üblichen Anschauungsweise anschließen.

§ 57. Qualitative Beobachtungen. In bezug auf den Sinn der Kataphorese schließen sich die Beobachtungen von PICTON und LINDER jenen von QUINCKE, die an größeren Teilchen angestellt waren, insofern an, als sie z. B. für Schellack, Mastix, Stärke, Anilinblau, Arsentrisulfid, Indigo, Kieselsäure, Schwefel in Wasser anodische Überführung konstatieren, doch finden sich auch einige Substanzen mit kathodischer Kataphorese, nämlich Eisenhydroxyd, Hämoglobin, Hoffmannsviolett, Magdala-Rot, Methylviolett, Rosanilinhydrochlorid. Nach BURTON u. a. werden auch die Hydroxyde anderer Metalle, wie Kupfer, Wismut, Blei, zur Kathode übergeführt, während edle Metalle wie Silber, Gold, Platin zur Anode wandern.

SCHMAUSS zeigte[2]), daß kolloidales Eisenhydroxyd, je nach der Herstellungsart, in zweierlei Form vorkommt, als grünes, kathodisch wanderndes $Fe(OH)_2$ und als rotgelbes, anodisch wanderndes $Fe_2(OH)_6$.

Bezüglich weiterer Details des heute sehr angewachsenen, auf Kataphorese verschiedener Stoffe bezüglichen qualitativen Beobachtungsmaterials, sowie des Zusammenhanges dieser Erscheinungen mit der Chemie der Kolloide siehe die Literaturzusammenstellungen in: A. MÜLLER, Allgem. Chemie d. Kolloide, Leipzig 1907; W. OSTWALD, Grundriß d. Kolloidchemie, 2. Aufl. Dresden 1911; H. FREUNDLICH, Kapillarchemie, Leipzig 1909; R. ZSIGMONDY, Kolloidchemie, Leipzig 1912.

§ 58. Vervollkommnung quantitativer Messungsmethoden. Quantitative Messungen der kataphoretischen Geschwindigkeit sind zuerst von PICTON u. LINDER[3]) für eine Lösung von Arsentrisulfid angestellt worden. Später haben WHITNEY und BLAKE[4]) die Sache genauer untersucht. Sie verwendeten eine mit der kolloidalen Lösung angefüllte vertikale, beiderseits mit Membranen von Goldschlägerhaut verschlossene Glasröhre (30—50 cm lang, etwa 2,5 cm breit); die Elektroden befanden sich außerhalb der Membranen in Leitfähigkeitswasser; bei Einschaltung

---

[1]) Vgl. z. B. die eigentümlichen von C. CHRISTIANSEN beobachteten Bewegungserscheinungen an polarisierten Quecksilbertropfen, Ann. d. Phys. **12**. 1072. 1903.

[2]) A. SCHMAUSS, Phys. Ztschr. **6**. 506. 1905.

[3]) H. PICTON u. S. E. LINDNER, Journ. Chem. Soc. **71**. 568. 1897.

[4]) W. R. WHITNEY u. J. C. BLAKE, Journ. Am. Chem. Soc. **26**. 1339. 1904.

einer Akkumulatorenbatterie bewegte sich das Kolloid (Gold) in der Richtung gegen die Anode zu, so daß sich die Bewegung der Grenzfläche zwischen reiner Flüssigkeit (an der Kathode) und der gefärbten Lösung genau verfolgen ließ.

Diese „makroskopische“ Beobachtungsmethode ist jedoch nicht sehr zuverlässig, da die Ergebnisse zeitlichen Veränderungen unterliegen. Teilweise rührt dies davon her, daß die Leitfähigkeit der Lösung erheblich größer ist als jene der darüberliegenden klaren Flüssigkeit; dies bedingt in der letzteren einen steileren Potentialabfall. WHITNEY u. BLAKE erklären damit überhaupt das Bestehen der scharfen Trennungsfläche zwischen beiden Teilen, indem die zurückbleibenden Teilchen infolge desselben mit vermehrter Geschwindigkeit nachgeschoben würden. Das ist allerdings richtig, andererseits bemerken wir, daß ohnehin nach Formel (26) alle Teilchen ohne Rücksicht auf Größe und Gestalt mit gleicher Geschwindigkeit wandern sollten; etwaige Unterschiede müßten sich sonst in der Entstehung von lokalen Ungleichförmigkeiten der Teilchenzahl innerhalb der Lösungssäule zu erkennen geben.

Eine andere Störung der Gleichförmigkeit der Bewegung tritt meistens auf, nachdem die Grenzfläche ein Drittel der Röhrenlänge zurückgelegt hat: indem sie sich von da an merklich langsamer bewegt. Dies dürfte wahrscheinlich auf eine von der Anode ausgehende elektrolytische Konzentrationsänderung zurückzuführen sein. Überhaupt treten in der Nähe der Elektroden oft ganz abnormale Vorgänge auf, zweifellos infolge Konzentrationsänderungen, namentlich durch Wanderung der H-, OH-Ionen.[1])

Eine bequeme Versuchsanordnung mit Benutzung eines U-Rohres, bei der auch das möglicherweise Fehlerquellen involvierende Zusammendrücken und Ablagern des suspendierten Kolloids vermieden wird, beschreibt BURTON.[2]) Dabei wird der Mittelwert der in den beiden Schenkeln des U-Rohres gemessenen Geschwindigkeiten als richtig angenommen.

Derselbe Autor weist auch auf eine andere Fehlerquelle hin, nämlich den Gehalt an gelöstem Elektrolyt in der kolloidalen Lösung, welcher die kataphoretische Geschwindigkeit beeinflußt. Dies zeigt sich in der Abhängigkeit derselben von der Leitfähigkeit der Lösung. So gibt BURTON für kolloidales Kupfer (wahrscheinlich Kupferhydroxyd) folgende Zahlen:

Leitfähigkeit·10^6 . . .	8,2	7,7	6,5	5,8	4,3	3,1
$V \cdot 10^5$	24,9	23,4	25,4	25,4	30,4	33,0

Eine andere Fehlerquelle wird von RIDSDALE ELLIS[3]) hervorgehoben: die elektrosmotische Strömung der Flüssigkeit längs der Glaswände und die Rückströmung im Innern verursachen nämlich eine Deformation der anfangs ebenen Grenzfläche zwischen Emulsion und reiner Flüssigkeit, so daß sie sich gegen die Anode hin ausbaucht (bei anodischer Überführung der Teilchen); es ist dann zweifelhaft, auf welchen Punkt man die Wanderungsgeschwindigkeit beziehen soll. Dieser Einfluß ist besonders in engen Röhren bemerkbar (siehe § 20). Bei größeren Stromstärken entstehen auch Strömungen infolge der Erwärmung der Flüssigkeit.

Die meisten vorher erwähnten Fehlerquellen bleiben übrigens ohne Einfluß auf die unmittelbar nach Stromschluß beobachteten Anfangswerte der Geschwindigkeit in genügend weiten Gefäßen und in genügender Entfernung von den Elektroden. Daher dürfte diese makroskopische Meßmethode, welche sich durch leichte Anwendbarkeit auszeichnet und bei ultramikroskopischen Suspensionen allein anwendbar ist, doch nicht ganz zu verwerfen sein, wie R. ELLIS (loc. cit.) meint. Aller-

---

[1]) Siehe z. B. PICTON u. LINDER, WHITNEY u. BLAKE, l. c.; A. MAYER u. E. SALLES, C. R. **146**. 826. 1908.

[2]) E. F. BURTON, Phil. Mag. **11**. 425. 1906; **12**. 472. 1906; **17**. 583. 1909; in der Tabelle unten mit (1) (2) (3) bezeichnet.

[3]) RIDSDALE ELLIS, Ztschr. f. phys. Chem. **78**. 321. 1911.

dings wird die mikroskopische Methode bei Benutzung der in § 20 dargelegten Berechnungsmethoden gewiß eine größere Genauigkeit ergeben.

§ 59. Resultate, einheitliche Stoffe. Die nachfolgende Tabelle enthält eine Anzahl von Bestimmungen der kataphoretischen Geschwindigkeit V in reinem Wasser und anderen Lösungsmitteln, sowie der Werte $\varphi_i - \varphi_a$, die sich daraus unter Annahme der Gültigkeit der Formel (26) ergeben. Das Minuszeichen bedeutet Wanderung zur Kathode.

Flüssigkeit	Substanz	Teilchen-durchmesser	Temp.	$V \cdot 10^5$	$\varphi_i - \varphi_a$	Autor
Wasser	Lykopodium . .	30μ		25	0,037	QUINCKE (1861)
	As_2S_3	unter $0,1\mu$		22	0,032	PICTON u. LINDER (1897)
	Quarz	1μ		30	0,044	WHITNEY u. BLAKE (1904)
	Berlinerblau . .	unter $0,1\mu$		40	0,058	
	Gold	„		40	0,058	
	Platin	„		30	0,044	
	Eisenhydroxyd	„		−30	−0,044	
	Silber	„		33	0,048	COTTON u. MOUTON (1906)
	Gold	„	18°	21,6	0,032	BURTON (1) (1906)
	Platin	„		20,3	0,030	
	Silber	„		23,6	0,034	
	Bismuth (hydroxyd?)	„		−11,0	−0,016	
	Blei (hydroxyd?)			−12,0	−0,018	
	Eisen (hydroxyd?)	„		−19,0	−0,028	
	Kupfer(hydroxyd?)	„	18°	−33,0	−0,048	BURTON (3) (1909)
	Silber	„		22,4	0,032	BURTON (2) (1906)
	Gold	„		33,0	0,048	
	Öl	?		43,0	0,060	W. C. LEWIS (1909)
	Öle	2μ	25°	48,0 bis 27,0	0,063 0,035	RIDSDALE ELLIS (1911)
	Anilin	„		31,1	0,041	
	Chloroform . .	„		10,0	0,013	
	Gummigutt . .	„		18,1	0,024	
	Mastix	„		17,7	0,023	
Methylalkohol	Blei (hydroxyd)	unter $0,1\mu$		−22	−0,046	BURTON (1) (1906)
	Wismut (hydroxyd)	„		−10,2	−0,021	
Äthylalkohol	Blei (hydroxyd?)	„		− 4,5	−0,024	
	Zinn (hydroxyd?)	„		− 3,6	−0,019	
	Zink (hydroxyd?)	„		− 2,8	−0,015	
Äthylmalonat	Platin	„		2,3	+0,054	
	Silber	„		1,7	+0,040	
	Gold	„		1,4	+0,030	

Es ergeben also diese kataphoretischen Messungen tatsächlich Potentialdifferenzen derselben Größenordnung wie die direkten elektrosmotischen Bestimmungen; sonst ist ein quantitativer Vergleich bei der Dürftigkeit des bisherigen Materials noch nicht ausführbar.

§ 60. Elektrolytzusätze, isoelektrischer Punkt, qualitative Beobachtungen. Schon LINDER u. PICTON haben bemerkt, daß die kataphoretische Geschwindigkeit durch Elektrolytzusätze geändert wird und zwar, daß Säuren eine kathodische, Alkalien eine anodische Überführung begünstigen. HARDY[1]) be-

[1]) W. B. HARDY, Ztschr. f. phys. Chem. **33**. 385. 1900. Vgl. auch W. PAULI, Beitr. z. chem. Physiol. u. Pathol. **7**. 531. 1906.

obachtete dies besonders deutlich an durch Hitze modifiziertem Albumin, welches je nach Säure- oder Alkalizusatz in einem oder anderem Sinne wanderte, und er bemerkt zugleich, daß Lösungen, welche sich im isoelektrischen Punkt befinden, (d. h., daß deren Teilchen keine Kataphorese aufweisen) sich durch besonders leichte Ausfällbarkeit auszeichnen.

Billiter[1]) untersuchte diese Erscheinungen für eine Reihe von Metallen (Pt, Au, Pd, Ag, Hg, Fe) mittels verschiedener kataphoretischer Versuchsmethoden, wie z. B. Ablenkung von frei aufgehängten, in die Flüssigkeit eintauchenden Drähten, Kataphorese kolloidaler Metallösungen, Erzeugung von kataphoretischen Strömen mittels fallender Metallpulver u. dergl. Der Zweck seiner Arbeit war jedoch nicht die Untersuchung der Abhängigkeit des Potentialsprunges ($\varphi_i - \varphi_a$) der Doppelschicht von der Zusammensetzung der Lösung, sondern die Bestimmung der Potentialdifferenz einer gerade elektrosmotisch neutralen Lösung gegen eine 0,1 KCl-Kalomelelektrode. Nach Billiter beweist nämlich das Nullwerden der elektrosmotischen Wirkung, daß die Potentialdifferenz zwischen Lösung und Metall verschwindet, und dies würde die Bestimmung absoluter Potentiale in der Spannungsreihe der Metalle ermöglichen.

Hier sei als Beispiel nur eine Beobachtung angeführt, die sich auf Kataphorese einer kolloidalen Platinlösung bezieht, welcher Formaldehyd in wechselnden Mengen zugesetzt wurde. Solange die Potentiale einer in die Lösung eingetauchten platinierten Platinelektrode gegen die Kalomelelektrode betrugen: 0,16, 0,14 Volt, wanderten die Pt-Teilchen zur Kathode; bei 0,13—0,12 Volt war die Bewegung unmerklich; bei 0,11, 0,10, 0,05 Volt wanderten sie zur Anode.

Derselbe Umkehrpunkt 0,12 Volt ergab sich bei Zusätzen anderer Art (wie $KBrO_3$, $FeSO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$, H_2O_2) und übereinstimmende Resultate erhielt Billiter bei Benutzung der anderen Versuchsmethoden.

Whitney u. Blake[2]) versuchten vergeblich, Billiters Resultate an kolloidalen Gold- und Platinlösungen zu verifizieren, und schoben die Abweichungen der Beobachtungen auf Rechnung eines von demselben behufs Vermeidung von Koagulation angewendeten Gelatinezusatzes. Auch die mittels anderer Methoden ausgeführten Messungen Billiters sind von verschiedenen Seiten angegriffen worden (siehe § 69). Diese Polemik richtet sich jedoch nicht gegen die Behauptung, daß die elektrosmotische Doppelschicht durch entsprechenden Elektrolytzusatz zum Verschwinden gebracht werden könne, was heute als sicher gilt, sondern gegen die Annahme, daß diese Erscheinung nur vom elektrischen Potential der Lösung eindeutig abhängt.

§ 61. Quantitative Messungen von Burton. Quantitative Angaben über die eben besprochene Erscheinung hat Burton geliefert, indem er den Einfluß eines Zusatzes von Aluminiumsulfat auf die kataphoretische Geschwindigkeit von Gold, Platin und Kupfer(-hydroxyd?) in der früher erwähnten Weise genau gemessen hat. Diese Messungen sind aus dem Grunde interessant, da die erstgenannten Metallteilchen negative Ladungen tragen, dagegen Kupferhydroxyd positive; nach den Erfahrungen Perrins war also zu erwarten, daß bei ersteren das Alkaliradikal, bei letzteren das Säureradikal die Neutralisation der elektrischen Doppelschichtladung bewirken würde, und daß hierbei der Einfluß der Wertigkeit jener Ionen hervortreten müßte. Diese Vermutung wurde durch die Versuchsresultate, welche wir nachstehend wiedergeben, vollkommen bestätigt. Es bedeutet hierbei: C den Gehalt der kolloidalen Lösung an Metall, in Gramm auf 100 cm³, c die Konzentration der zugesetzten Substanz in Gramm des wirksamen Ions auf 100 cm³ der

[1]) J. Billiter, Ann. d. Phys. **11.** 902, 937. 1903; **13.** 827. 1904; Ztschr. f. phys. Chem. **45.** 307. 1903; **48.** 513, 542. 1904; **49.** 709. 1904; **51.** 129, 167. 1905; Ztschr. f. Elektrochem. **8.** 638. 1902; **14.** 624. 1908; **15.** 439. 1909.

[2]) l. c. § 58.

Lösung, c_m die Konzentration derselben in $\pm$ Gramm-$\left\{\begin{matrix}\text{Kationen}\\ \text{Anionen}\end{matrix}\right\}$ pro Liter Lösung, V die beobachtete kataphoretische Geschwindigkeit (gegen die Anode zu).

Lösung	C	Zusatz	$c.10^5$	$c_m.10^6$	$V.10^5$
Kupfer	$8{,}8\cdot10^{-3}$	KCl	0,0	0	− 24,9
			6,0	− 17,0	− 25,7
			17,6	38,0	− 26,2
			26,2	74,0	− 22,8
			54,6	154,0	− 18,7
		K_2SO_4	0,0	0,0	− 25,4
			7,2	− 7,7	− 25,3
			17,8	19,2	− 24,0
			35,6	38,4	− 21,8
			89,0	96,0	− 14,4
			142,4	153,0	0,0
		$Al_2(SO_4)_3$	0,0	0,0	− 23,4
			13,4	− 13,8	− 21,5
			26,8	27,6	− 19,2
			52,0	54,9	− 18,5
		K_3PO_4	0,0	0,0	− 25,4
			3,4	− 3,6	− 21,5
			7,0	7,2	− 16,8
			13,6	14,4	− 3,4
			20,4	21,6	+ 4,8
			31,2	32,8	+ 7,9
		$K_6(FeCy_6)_2$	0,0	0,0	− 30,4
			15,0	− 7,1	− 14,0
			30,0	14,3	− 3,8
			45,0	21,4	− 1,0
			60,0	28,6	+ 1,5
			90,0	42,8	+ 9,1
Silber	$6{,}5\cdot10^{-3}$	$Al_2(SO_4)_3$	0,0	0,0	+ 22,4
			1,4	+ 5,1	+ 7,2
			3,8	14,0	− 5,9
			7,7	28,4	− 13,8
Gold	$6{,}2\cdot10^{-3}$	$Al_2(SO_4)_3$	0,0	0,0	+ 33
			1,9	+ 7,0	+ 17,1
			3,8	14,0	− 1,7
			6,3	23,2	− 13,5

Bemerkenswert ist, daß dabei das zweiwertige Anion SO_4 in K_2SO_4 und $Al_2(SO_4)_3$ gleich stark wirkt, daß also tatsächlich die Natur des Kations in diesem Falle gleichgültig ist, ferner, daß das dreiwertige Kation Al bei negativen Teilchen ungefähr ebenso stark wirksam ist wie die dreiwertigen Anionen PO_4, $FeCy_6$ bei positiven Teilchen. Die zu vollständiger Neutralisation der Doppelschichtladung erforderlichen Ionenkonzentrationen würden diesen Messungen gemäß betragen:

bei einwertigen Ionen (extrapoliert) $600{,}10^{-6}$
„ zweiwertigen „ „ $150{,}10^{-6}$
„ dreiwertigen „ „ $15{,}10^{-6}$
} Gramm-Ion pro Liter

Eine quantitative Vergleichung mit Perrins Resultaten § 49 ist nicht gut durchführbar, doch ist qualitativ vollkommene Übereinstimmung vorhanden. Andererseits scheint aber in diesen Fällen, entgegen Perrins Ansicht, die Anwesenheit freier Säure (oder Alkali) nicht erforderlich zu sein, um eine Potentialdifferenz $\varphi_i - \varphi_a$ zu erzeugen, indem sich die Teilchen in der Regel desto rascher bewegen, je reiner das angewandte Wasser ist.

§ 62. Quantitative Messungen von R. Ellis. Während die bisher besprochenen Messungen sich fast durchweg auf kolloidale Suspensionen von Metallen oder anderen

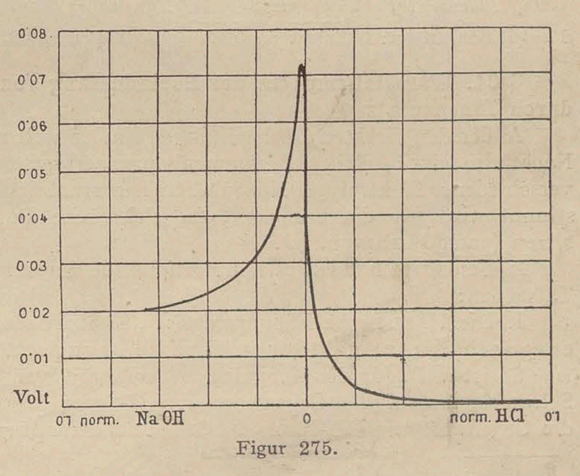
leitenden Substanzen bezogen, hat R. ELLIS in einer schon im § 20 zitierten, sehr bemerkenswerten Arbeit[1]) die Kataphorese der Tröpfchen von Ölemulsionen studiert. Dies dürfte bisher der einzige genauer untersuchte Fall sein, wo die Leitfähigkeit die Anwendbarkeit der Theorie nicht beeinträchtigen kann; andererseits wäre hier vielleicht die in § 32 erwähnte Korrektur infolge Deformierbarkeit der Wand zu berücksichtigen.

Eine Messungsreihe bezog sich auf verschiedene Emulsionen in reinem Wasser und ergab die in § 59 angeführten kataphoretischen Geschwindigkeiten, welche in Übereinstimmung mit COEHNS Regel sämtlich anodisch gerichtet waren.

Sodann wurde ein „besonderes säurefreies" Öl in Wasser beobachtet, dem kleine Mengen von HCl oder NaOH zugesetzt waren. Aus den gemessenen kataphoretischen Geschwindigkeiten ergaben sich für die Potentialdifferenzen $\varphi_i - \varphi_a$ an den Grenzflächen Wasser-Öl und Wasser-Glas (welche sich gleichfalls nach dem Verfahren § 20 berechnen läßt) folgende Resultate:

Flüssigkeit	V	$\varphi_i - \varphi_a$ (Wasser-Öl)	$\varphi_i - \varphi_a$ (Wasser-Glas)
0,1 norm. HCl	0,0	0,0	0,0
0,025 „ „	0,18	0,0022	0,0022
0,010 „ „	0,71	0,0088	0,0025
0,005 „ „	1,49	0,0185	0,0125
0,0 H_2O	3,59	0,050	0,064
0,001 „ NaOH	5,78	0,072	0,049
0,002 „ „	5,44	0,068	0,049
0,01 „ „	3,42	0,042	0,029
0,05 „ „	1,75	0,022	0,0155

Die für Wasser-Öl ermittelten Werte, welche in ihrer Abhängigkeit von der Anzahl H- und OH-Ionen durch den Verlauf der Kurve Figur 275 dargestellt werden, entsprechen dem von PERRIN studierten Verhalten des Naphtalins und des Karborundums insofern, als die Potentialdifferenz in schwach alkalischer Lösung größer war, dagegen in saurer Lösung kleiner als in reinem Wasser. Doch gehen sie über die von jenem Beobachter erhaltenen Resultate hinaus, indem sie eine Abnahme des Potentials in größerer Konzentration der alkalischen Lösung dartun, welche PERRIN nicht bemerkte. Dagegen wurden negative Werte von $\varphi_i - \varphi_a$ selbst in der 0,1 norm. sauren Lösung noch nicht erreicht.



Figur 275.

Die Absolutwerte der Potentialdifferenzen sind wohl aus dem oben bemerkten Grunde einer gewissen Verbesserung bedürftig, doch ist der allgemeine Charakter der Kurve sehr instruktiv. Auch die Kurve für Wasser-Glas hat einen analogen Verlauf, nur tritt in derselben (wohl infolge zufälliger Versuchsfehler oder der in

[1]) RIDSDALE ELLIS, Ztschr. f. phys. Chem. **78.** 321. 1911.

§ 20 berührten Unvollkommenheit der Berechnungsmethode) der Umstand nicht genügend hervor, daß das Maximum von $\varphi_i - \varphi_a$ in eine schwach alkalische Lösung (vielleicht sogar unter 0,001 norm.) fallen dürfte.[1])

III. Zusammenhang mit der Stabilität der kolloidalen Lösungen.

§ 63. Koagulation im isoelektrischen Punkt, direkte Versuche von Hardy, Burton. Eine ganz eigentümliche Erscheinung ist der Zusammenhang zwischen der aus Versuchen über Kataphorese abzuleitenden Doppelschichtladung und der Stabilität der kolloidalen Lösungen. Wie schon erwähnt, hatte Hardy bemerkt[2]), daß durch Erwärmung modifiziertes Hühnereiweiß in sauren Lösungen, in denen es kathodisch wandert, wie auch in alkalischen, in denen es sich umgekehrt bewegt, stabil ist, und daß die Ausfällung gerade in dem isoelektrischen Punkte erfolgt, wo die Bewegung Null war. Auf die von Hardy gegebene Erklärung kommen wir im weiteren zurück.

Aus dem äußerst umfangreichen, seitdem von zahlreichen Beobachtern angesammelten Beobachtungsmaterial scheint wohl zu folgen, daß diese Beziehung keine allgemeine Gültigkeit hat, indem Fälle konstatiert wurden, wo Koagulation nicht im isoelektrischen Punkt eintrat[3]), aber in einer ausgedehnten Klasse von Fällen, insbesondere solchen, die zu den „Suspensionskolloiden“ gehören, ist ein solcher Zusammenhang sicher nachgewiesen.

Außer den direkten Beobachtungen von Hardy (loc. cit.) und von Svedberg[4]) sind hier insbesondere die vorher zitierten, genauen Messungen Burtons an Metallkolloiden anzuführen, bei denen der Parallelismus zwischen der Schnelligkeit des Fällungsprozesses und der Abnahme der kataphoretischen Geschwindigkeit infolge von Elektrolytzusatz quantitativ verfolgt wurde[5]).

Als Beispiel führen wir die auf Zusatz von K_2SO_4 zu kolloidalem Kupfer bezüglichen Beobachtungen an:

Kataph. Geschw. V	25,4	25,3	24,0	21,8	14,4	0,0	10^{-4} cm/sec.
Koagulation erfolgt:	nicht merklich			in 2 Wochen	2 Stunden	1 Stunde	

§ 64. Parallelismus in der Beeinflussung von Stabilität und Elektrosmose durch Ionenzusatz.

Außer den direkten Beobachtungen sind in weit ausgedehnterem Maße indirekte Nachweise eines solchen Zusammenhanges erbracht worden, indem die Fähigkeit verschiedener Elektrolyte, Koagulation hervorzubringen, durch dieselben Regeln bestimmt wird wie die Fähigkeit, die elektrische Doppelschichtladung zu neutralisieren (nach Perrin u. a.).

Insbesondere handelt es sich um folgende durch zahlreiche Forscher konstatierte Tatsachen:

1. Die Hardysche Fällungsregel: „Kolloidale Phasen werden nur von entgegengesetzt geladenen Ionen koaguliert.“

So ist z. B. für die Koagulation der „negativen“ Stoffe Arsentrisulfid, Kaolin, Schwefel, Mastix die Gegenwart von H- oder Metallionen maßgebend, während die Gegenwart von OH-Ionen die Stabilität derartiger Kolloide nur noch vergrößert.

---

[1]) Siehe Cameron u. Öttinger, l. c. § 53.

[2]) W. B. Hardy, Ztschr. f. phys. Chem. **33**. 385. 1900; Proc. Roy. Soc. **66**. 110. 1900.

[3]) Vgl. z. B. J. Billiter, Ztschr. f. phys. Chem. **45**. 327. 1904; **51**. 129. 1905. — G. Quincke, Ann. d. Phys. **7**. 571. 1902. — W. Flemming, Ztschr. f. phys. Chem. **41**. 443. 1902. — J. Reissig, Ann. d. Phys. **27**. 186. 1908.

[4]) The. Svedberg, Nova Act. R. Soc. Upsal. **2**. 153. 1907.

[5]) Weitere Beweise für den Zusammenhang zwischen Koagulation und Neutralisierung der elektrischen Doppelschicht bringt R. Ellis, Ztschr. f. phys. Chem. **80**. 597. 1912, durch Versuche an Öl-Emulsionen, in Fortsetzung der im § 62 zitierten Arbeit. ~~[Anm. bei der Korrektur.]~~

Nach BREDIG[1]) sind Platinsole in schwach alkalischem Wasser stabiler als in reinem Wasser. Umgekehrt wird z. B. das positive Eisenhydroxyd durch Alkalizusatz koaguliert; wird jedoch zum Koagulum wieder Säure zugesetzt, so wird es wiederum in Lösung gebracht.[2]) Ausdrücklich sei bemerkt, daß hierbei nur freie Ionen in Betracht kommen, daher fällen schwach dissoziierte Elektrolyte erst in viel stärkerer Konzentration als stark dissoziierte. Nichtelektrolyte sind in der Regel einflußlos.[3])

2. Die SCHULZEsche Wertigkeitsregel.[4])

„Die Fällungskraft der Ionen steigt außerordentlich mit der Wertigkeit derselben". Hierbei sind jedoch H und OH ausgenommen, welche eine ausnahmsweise starke Fällungskraft für entgegengesetzt geladene Teilchen besitzen. Nach SCHULZE würde das Verhältnis gleich wirksamer Konzentrationen ein-, zwei-, dreiwertiger Radikale betragen: 350:20:1. Nach PICTON u. LINDER wäre das Verhältnis der Fällungskraft solcher Ionen: 1:35:1023. FREUNDLICH[5]) gibt beispielsweise folgende, an einem Platinsol in gleicher Weise Fällung bewirkende Ionenkonzentrationen an: KCl 2,2; $BaCl_2$ 0,058; $^1/_2\,Al_2(SO_4)_3$ 0,013.

331

Übrigens sind konstante Verhältniszahlen überhaupt nicht vorhanden, da die Fällungswerte mit der Konzentration der zu fällenden Lösung sich ändern, und es auch schwer ist, eine einheitliche Methode zur Kontrolle des Koagulationsvorganges anzugeben.

Jedenfalls tritt in diesen Regeln ein auffallender Parallelismus mit dem von PERRIN konstatierten Einfluß der Elektrolyte auf die Elektrosmose zutage, und PERRIN schließt sich auch vollkommen der Theorie von HARDY an, wonach die Koagulation an das Verschwinden der Doppelschichtladung gebunden ist.

Die Rolle der letzteren wird auch durch eine charakteristische Beobachtung erwiesen, wonach entgegengesetzt geladene Kolloide und nur solche einander in geeigneten Konzentrationen ausfällen. So werden z. B. die negativen Metallsole durch die positiven Hydroxyde und positiven Farbstoffe (Magdalarot, Bismarckbraun) gefällt.

H. FREUNDLICH und G. v. ELISSAFOFF konstatieren den Parallelismus dieser beiden Erscheinungen übrigens auch in solchen Einzelheiten, welche über diese zwei allgemeinen Regeln hinausgehen (Einfluß organischer Farbstoffe u. dgl.).[6])

§ 65. Theorie von Hardy, Berechnung von Smoluchowski. Ohne in weitere Einzelheiten des heute so kolossal angewachsenen, auf die Fällungserscheinungen der Kolloide bezüglichen Tatsachen-Materials einzugehen, wollen wir nur noch kurz die Theorien besprechen, welche eine Erklärung des eben dargelegten Zusammenhanges bewirken. HARDY (loc. cit.) äußerte den im Prinzip ganz richtigen Gedanken, die elektrische Doppelschichte müsse eine Schutzwirkung ausüben, indem sie dem unter Einfluß der Schwere erfolgenden Niedersinken der Teilchen entgegenwirke. Denn durch DORNs Versuche (§ 23) war ja festgestellt, daß fallende Teilchen einen „kataphoretischen" Strömungsstrom in der Umgebung erzeugen, und die dabei auftretende JOULEsche Wärme muß von der potentiellen Energie der Schwere jener Teilchen bestritten werden.

---

[1]) G. BREDIG, Anorg. Fermente. 1901. p. 26ff.

[2]) A. MAYER, G. SCHAEFFER u. E. TERROINE, C. R. **145.** 918. 1907.

[3]) H. FREUNDLICH, Ztschr. f. phys. Chem. **44.** 136. 1903.

[4]) H. SCHULZE, Journ. f. prakt. Chem. **25.** 431. 1882; **27.** 320. 1883; **32.** 390. 1885. — Siehe auch die theoretischen Spekulationen von W. C. D. WHETHAM, Phil. Mag. **48.** 474. 1899; Ztschr. f. phys. Chem. **32.** 637. 1900 und deren Kritik durch H. FREUNDLICH, Ztschr. f. phys. Chem. **44.** 145. 1903.

[5]) H. FREUNDLICH, Kapillarchemie 1909. p. 355. Vgl. auch z. B. H. W. WOUDSTRA, Ztschr. f. phys. Chem. **60** 607. 1908. — SVEN ODÉN, ebd. **78.** 682. 1911.

[6]) H. FREUNDLICH und G. v. ELISSAFOFF, Ztschr. f. phys. Chem. **79.** 407. 1912; vgl. auch § 54, 71.

Nun hat aber Smoluchowski[1]) berechnet, daß der Widerstand einer sich mit konstanter Geschwindigkeit in einer zähen Flüssigkeit bewegenden Kugel (von Radius a) durch jene Wirkung im Verhältnis

$$1 : \left\{1 + \left[\frac{K(\varphi_i - \varphi_a)}{4\pi}\right]^2 \frac{\sigma}{a^2 \eta}\right\}$$

vermehrt wird. Diese Vergrößerung des normalen Zähigkeitswiderstandes ist somit dem Quadrat des Teilchenradius umgekehrt proportional, würde aber in reinem Wasser: $\sigma = 10^6 \left(\frac{\text{Ohm}}{\text{cm}^3}\right) = \frac{1}{9} \cdot 10^{-5}$ (C. S. S.) unter der Annahme $\varphi_i - \varphi_a = 0{,}025$ Volt erst bei einem kleineren Durchmesser als 10^{-5} cm den Widerstand auf das Doppelte erhöhen. Bei so kleinen ultramikroskopischen Teilchen genügt aber schon der normale Zähigkeitswiderstand vollständig, um eine scheinbare Stabilität gegenüber der Schwerkraft vorzutäuschen, indem dieselben nach der Stokesschen Formel pro Jahr nur um Strecken von der Größenordnung einiger Zentimeter sinken würden.

Die neueren Untersuchungen über Brownsche Bewegung[2]) haben diese Frage von einer neuen Seite beobachtet. Denn ihnen zufolge muß eine aus genügend kleinen Teilchen bestehende Suspension, infolge der Brownschen Bewegung derselben, an und für sich eine gewisse wahre Stabilität gegenüber der Schwerkraft besitzen, da sie sich im Gleichgewichtszustand wie ein Gas verhalten wird, mit einer von unten nach oben allmählich abnehmenden Dichte, bzw. Teilchenzahl. Es ist da dieselbe Formel gültig wie für die barometrische Höhenmessung, nur daß im Falle einer wässerigen Suspension die Höhe der „stabilen" Atmosphäre durch die Größe[3]) $H = \frac{k}{mg\left(1 - \frac{1}{\varrho}\right)}$ bestimmt ist, also im umgekehrt proportionalen Verhältnis zur Masse m der Teilchen steht.

Sowohl die scheinbare als auch die wahre Stabilität wird also durch die Kleinheit der Teilchen bedingt. Es handelt sich also um Erklärung des Prozesses der Koagulation kleinerer Teilchen zu größeren Massen, das Niedersinken ist dann nur eine Folgeerscheinung des Zusammenballens.

§ 66. Kapillarelektrische Theorie, elektrosmotische Schutzwirkung. Die Erklärung des Koagulationsprozesses hat Bredig[4]) durch eine elektrokapillare Theorie zu geben versucht, ein Gedanke, welchem sich Perrin, Lottermoser u. a. anschließen. Bredig beruft sich auf die allgemein angenommene Helmholtzsche Theorie des Lippmannschen Phänomens, derzufolge die Oberflächenspannung des Quecksilbers gegen die Elektrolytlösung dann einen Maximalwert erreicht, wenn die Potentialdifferenz beider Phasen Null wird. Analog sollte die Kapillarspannung, welche das Zusammenballen der Teilchen in kolloidalen Lösungen hervorzurufen sucht, im isoelektrischen Punkt einen Maximalwert erreichen und so die Koagulation begünstigen[5]).

Diese Theorie hat gewiß manches für sich, wenngleich sie ihre definitive Form noch nicht erlangt hat. Denn es ist klar, daß die Oberflächenspannung beim Vereinigen kleinerer Tröpfchen zu größeren in Aktion kommt, aber weniger einleuchtend ist die Sache, wenn es sich um ein Aneinanderschieben von festen Teilchen, ohne

---

1) M. v. Smoluchowski, Krak. Anz. 1903. p. 182.

2) A. Einstein, Ann. d. Phys. **17**. 549. 1905; **19**. 371. 1906; M. v. Smoluchowski, ibidem **21**. 756. 1906. — J. Perrin, Ann. d. chim. phys. **18**. 5. 1909.

3) Die Konstante k hat den ungefähren Wert $4{,}3 \cdot 10^{-14}$ (für mittlere Temperatur); g ist die Schwerebeschleunigung, ϱ die Dichte der Substanz der Teilchen.

4) G. Bredig, Anorg. Fermente. 1901. p. 15.

5) R. Ellis findet keinen Zusammenhang der Koagulation mit der Oberflächenspannung und spricht sich für eine spezifische Schutzwirkung der elektrischen Doppelschicht aus (loc. cit. § 63). [Anm. bei der Korrektur.]

Vereinigung zu einer zusammenhängenden Masse, handelt wie das eben bei Koagulation meist stattfindet. Man müßte sich höchstens die Kapillarkräfte (nach BAKKER u. a.) in einer Schichte von endlicher Dichte lokalisiert denken, und dadurch würde auch der Einwand BILLITERS, daß die Kapillarkräfte keine Fernwirkung ausüben können, erledigt werden. Allerdings ist es bei unserer mangelhaften Kenntnis der Natur der Kapillarkräfte zurzeit noch nicht möglich, die Theorie durch Berücksichtigung dieses Umstandes in eine präzise Form zu bringen.

Außerdem ist übrigens auch noch eine gewisse, an HARDYS Theorie erinnernde Schutzwirkung der elektrischen Doppelschichte denkbar. Wenn nämlich zwei Teilchen infolge der BROWNschen Bewegung einander genähert werden, so wirkt einer weiteren Annäherung ein Zähigkeitswiderstand entgegen, welcher desto größer ist, je dünner die trennende Flüssigkeitsschichte. Infolge Anwesenheit der elektrischen Doppelschichte muß derselbe sehr gesteigert werden, analog, wie bei der oben berechneten Widerstandsvermehrung gegen translatorische Bewegung eines einzelnen Teilchens. Im isoelektrischen Punkte würde dieser Zusatzwiderstand verschwinden.

§ 67. Elektrostatische Theorie von Billiter, Freundlichs Theorie der Ladungsasymmetrie. Den im vorigen Paragraphen dargestellten Anschauungen zufolge wäre die Wirkung des Ionenzusatzes eine gewissermaßen indirekte, indem sie auf der dadurch hervorgebrachten Annullierung des Doppelschichtpotentials beruhen würde.

Dagegen sucht BILLITER[1]) den Einfluß der Ionen auf die Koagulation durch eine direkte elektrostatische Anziehung derselben auf die geladenen Teilchen der Suspension zu erklären. Es wurde schon im § 31 die Grundannahme der Theorie BILLITERS erwähnt — daß nämlich die Doppelschicht einen einseitigen Ladungsüberschuß besitze und infolgedessen elektrostatische Fernwirkung ausübe — und es wurden auch die Schwierigkeiten erwähnt, welche einer solchen Annahme im Wege stehen. Sonst lassen sich übrigens die Ausführungen BILLITERS auch teilweise im Sinne der späteren, genauer präzisierten Adsorptionstheorie FREUNDLICHS (§ 71) interpretieren.

Was den Mechanismus des Koagulationsvorganges anbelangt, weist FREUNDLICH[2]) auf gewisse von RAYLEIGH u. KAISER[3]) beobachtete Erscheinungen hin, in welchen elektrische Potentialdifferenzen für das Zerfallen bzw. Vereinigen von Flüssigkeitströpfchen, Strahlen, Seifenblasen wesentlich bestimmend waren, und erklärt die Koagulation in analoger Weise durch zufällige Ladungsasymmetrien, welche das Durchbrechen der trennenden Flüssigkeitsschichte begünstigen müssen. Die Möglichkeit eines solchen Einflusses ist gewiß nicht in Abrede zu stellen, aber es ist schwer, sich eine Meinung über deren Größe zu bilden, und es dürften doch wohl die in § 66 genannten Faktoren in erster Linie in Betracht zu ziehen sein.

D. Theoretische Überlegungen betreffs Natur der elektrosmotischen Doppelschicht.

§ 68. Perrins Theorie. Die im Abschnitt C besprochenen Untersuchungen haben unzweifelhaft dargetan, daß für die Ausbildung des Doppelschichtpotentials die Gegenwart elektrolytischer Ionen, und zwar besonders der H-, OH-Ionen, von ausschlaggebender Bedeutung ist. Ob ohne einen gewissen Gehalt an solchen Ionen an der Grenzfläche zweier Stoffe überhaupt keine Doppelschicht zustandekommt, wie PERRIN meint, das wird allerdings schwer zu entscheiden sein, denn bekanntlich

[1]) J. BILLITER, l. c. § 61.
[2]) H. FREUNDLICH, Kapillarchemie. 1909. p. 261., 347.
[3]) LORD RAYLEIGH, Proc. Roy. Soc. **28.** 406. 1879; **34.** 130. 1882. — E. KAISER, Wied. Ann. **53.** 667. 1894.

gelingt es nur sehr schwer, Dielektrika soweit von spurenweise vorhandenen Elektrolyten zu reinigen, daß deren Eigenleitfähigkeit zum Ausdruck kommt; und diese rührt dann von der Anwesenheit nichtelektrolytischer Ionen her, von der Art wie sie bei der Elektrizitätsleitung in Gasen zum Vorschein kommen.[1])

Es sind mancherlei Versuche gemacht worden, die Wirkung des Ionengehaltes auf die Doppelschichtladung theoretisch zu erklären.

So erwähnten wir schon Perrins Theorie[2]), welche dieselbe im Anschluß an gewisse Gedanken Langevins auf die Kleinheit der H-, OH-Ionen zurückführt. Solche kleine Ionen können mit ihren Schwerpunkten offenbar der festen Wand näher kommen als große Ionen, und darauf solle das Überwiegen derselben in der äußersten Schichte beruhen. Man könnte diese Theorie als eine rein „mechanische" bezeichnen.

Überdies schlägt jedoch Perrin (loc. cit.) noch eine etwas abweichende Fassung, allerdings in recht unbestimmter Weise vor, welche die große elektrolytische Wanderungsgeschwindigkeit der H-, OH-Ionen für jene Phänomene verantwortlich macht. Es ist in diesem Zusammenhang meist von einer „Diffusionstheorie" die Rede, ohne daß dieselbe jedoch irgendwo klar auseinandergesetzt wäre, und man meint damit ungefähr jene Theorie, welche Knoblauch zur Erklärung gewisser, beim Kontakt fester Körper beobachteter Elektrisierungseffekte angewendet hat (siehe § 74). Dieselbe erinnert auch an den Mechanismus der Entstehung elektrostatischer Ladungen in Gasen, welche beim Durchströmen von Glas- oder Metallröhren einer ionisierenden Strahlung ausgesetzt sind.

Gegen beide Erklärungsarten ist vor allem einzuwenden, daß der Parallelismus mit der Wanderungsgeschwindigkeit durchaus nicht allgemein stimmt; so kommt der Unterschied zwischen H-, OH-Ionen (Wanderungsgeschwindigkeiten 318:174) nicht zum Vorschein, auch erwähnt Perrin selbst, daß eine Lösung von LiBr (Wanderungsgeschwindigkeiten 33:67) sich unerwarteterweise gar nicht elektrosmotisch wirksam erwies. Dagegen ist nicht recht ersichtlich, wie sich gemäß dieser Theorie die enormen individuellen Unterschiede verschiedener Ionenarten (§ 54) erklären sollten.

Der mechanischen Theorie gemäß könnte die Dicke der Doppelschichte nur die Größenordnung der Atomradien besitzen, was aus anderen Gründen (§ 25) nicht sehr wahrscheinlich ist.

Sie ist aber wenigstens klar verständlich, was man von der Diffusionstheorie — in ihrer Anwendung auf die elektrosmotischen Doppelschichten — nicht sagen kann. Im Falle eines stationären Geschwindigkeitszustandes können doch die Unterschiede der Diffusions- bzw. elektrolytischen Wanderungsgeschwindigkeit keine Potentialdifferenz hervorrufen, da in jeder Richtung gleich viel Ionen jeder Art hin- und zurückwandern müssen. Der Vergleich mit der in Gasen beobachteten Ionenadsorption und Ionendiffusion ist nicht zutreffend, denn im letzteren handelt es sich um keine Gleichgewichtszustände. Es wird dort im Innern des Gases durch eine äußere Energiequelle eine bestimmte Anzahl von Ionen neu erzeugt, und diejenigen, welche an die Wand stoßen, bleiben an derselben ein für allemal haften.

§ 69. Osmotische Theorie, Billiters absoluter Nullpunkt des Potentials. Wenden wir uns nun zur „osmotischen" Theorie. Die bekannte Theorie Nernsts hat das Wesen der Potentialsprünge zwischen Metall und Elektrolyt sowie zwischen verschiedenen Elektrolyten klar gelegt, und in Weiterbildung derselben hat eine bemerkenswerte Arbeit von Haber u. Klemensiewicz[3]) uns in die elektromotorischen Kräfte Einsicht gewährt, welche allgemein an den Grenzen verschiedener elektrolytischer Phasen bestehen.

---

[1]) Vgl. G. Jaffé, Ann. d. Phys. **28**. 326. 1909. Siehe auch § 72.

[2]) J. Perrin, Journ. Chim. Phys. **2**. 635. 1904.

[3]) F. Haber u. Z. Klemensiewicz, Ztschr. f. phys. Chem. **67**. 385. 1909.

336

In

202

Es war naheliegend, die durch NERNSTS osmotische Theorie definierten elektromotorischen Kräfte mit dem Potentialsprung der Doppelschichte zu identifizieren und die theoretischen Werte mit den Ergebnissen elektrosmotischer Versuche zu vergleichen.

Von diesem Standpunkte aus läßt sich der den Arbeiten BILLITERS[1]) zugrunde liegende Gedanke verstehen, obzwar BILLITERS Auffassungsweise der kataphoretischen Erscheinungen in einigen schon erwähnten Punkten (vgl. § 31) von der hier vertretenen abweicht. BILLITER stellt sich die Aufgabe, mittelst elektrosmotischer Methoden Lösungen aufzusuchen, welche mit dem sie berührenden Metall isoelektrisch sind, um so den absoluten Nullpunkt des Potentials in der Spannungsreihe der Metalle zu bestimmen. Aus seinen Versuchen, bei denen er sich sieben verschiedener Methoden bediente, schloß er, daß nicht der aus HELMHOLTZS Theorie der kapillarelektrischen Erscheinungen abgeleitete Nullpunkt der richtige sei, demzufolge die Kalomeldezinormal-Elektrode ein Potential von — 0,57 Volt hätte, sondern daß derselbe um 0,7 Volt höher liege, so daß das Potential der Kalomel-Elektrode + 0,13 betragen würde.

337

BILLITERS Arbeiten haben zu einer langen Polemik Anlaß gegeben, es sind sowohl seine Versuche selbst, wie auch die aus denselben gezogenen Folgerungen von verschiedenen Seiten[2]) scharf angegriffen worden, wogegen BILLITER auf seinem Standpunkt beharrte, ohne daß bis heute die Sache vollständig klargelegt wäre. Insbesondere scheint die Allgemeingültigkeit des BILLITERschen Nullpunktes durch MÄKELTS Beobachtungen in Frage gestellt, denen zufolge für die elektrosmotischen Erscheinungen von Silber-Salzlösungen an Silber nicht das hauptsächlich vom Gehalt an Silberionen abhängige Potential der Lösung maßgebend ist, sondern (im Einklang mit PERRIN) geringe Zusätze von H und OH-Ionen von ausschlaggebender Bedeutung sind.

§ 70. Unterschied des elektrosmotischen und des Nernstschen Potentialsprunges. Auf jeden Fall muß man wohl FREUNDLICH darin Recht geben,[3]) daß es von vornherein gar nicht nötig ist, den NERNSTschen Potentialsprung mit der in den elektrosmotischen Erscheinungen wirksamen Doppelschicht zu identifizieren. Es wurde schon im § 31 bemerkt, daß in den elektrosmotischen Erscheinungen als $(\varphi_i - \varphi_a)$ nur derjenige Teil der gesamten Potentialdifferenz wirksam ist, welcher auf die Distanz zwischen der ruhenden, der Wand anhaftenden Flüssigkeitsschicht und dem Innern der Flüssigkeit entfällt.

338

Darauf weist insbesondere auch die Größe der „elektrosmotischen" Potentialsprünge hin, welche einige Hundertstel Volt betragen, im Gegensatz zu den die Größenordnung ganzer oder Zehntel Volt betragenden NERNSTschen Potentialsprüngen.

Diese Überlegungen sind auch geeignet, die Resultate zu erklären, welche CAMERON und ÖTTINGER in ihrer § 53 erwähnten Arbeit erhalten haben. Es ist dies ein interessanter Versuch einer quantitativen Vergleichung der zwei Potentialsprünge, oder eigentlich: einer durch Zusatz von Säuren oder Basen hervorgebrachten Änderung derselben, welcher auch den anderen Arbeiten gegenüber den Vorteil besitzt, daß er tatsächlich mit einer nichtleitenden Wand, nämlich Glas, angestellt ist, und hierbei die Berechtigung der HELMHOLTZschen Formeln außer Zweifel steht. Da sich nämlich, den Versuchen von HABER und KLEMENSIEWICZ gemäß, Glas verhält wie eine Wasserstoff- (resp. OH-) Elektrode konstanter Konzentration, findet man aus den bekannten NERNSTschen Formeln leicht, daß die osmotische

[1]) J. BILLITER, l. c. § 60.

[2]) W. R. WHITNEY u. E. C. BLAKE, Journ. Am. Chem. Soc. **26.** 1339. 1904. — H. M. GOODWIN u. R. B. SOSMAN, Phys. Rev. **21.** 129. 1905. — W. PALMAER, Ztschr. phys. Chemie **59.** 166. 1907. — H. FREUNDLICH u. E. MÄKELT, Ztschr. f. Elektrochem. **15.** 161. 1909. — E. MÄKELT, Dissert. Leipzig 1909.

[3]) H. FREUNDLICH, Kapillarchemie 1909. p. 244. — H. FREUNDLICH u. E. MÄKELT, l. c.

Potentialdifferenz Glas—Lösung um 0,43 Volt abnimmt, wenn man von einer $^1/_{2000}$ normalen Alkalilösung zu einer $^1/_{2000}$ normalen Säurelösung übergeht. Die Strömungsstrom-Messungen gaben jedoch tatsächlich nur eine Abnahme von ca. 0,015 Volt. Das ist nicht verwunderlich, wenn bei letzteren nur ein Teil der gesamten Potentialdifferenz aktiv ist. Im Gegensatz hierzu würde bei den kapillarelektrischen Versuchen, wo es sich um Dehnungen der Grenzschichten zweier angrenzender Flüssigkeiten handelt, die gesamte Potentialdifferenz zwischen denselben in Aktion treten.[1])

Noch krasser tritt die Unvereinbarkeit der NERNST-HABERschen osmotischen Theorie mit der Elektrosmose in den im § 62 erwähnten Messungen von R. ELLIS zutage, welche sich auf das Verhalten von Glas gegen saure und alkalische Lösungen von größerer Konzentration beziehen. Die Abnahme der Potentialdifferenz mit Zunahme der Konzentration sowie die Kleinheit der erhaltenen Zahlen beweisen, daß hier eine ganz andere Potentialdifferenz ins Spiel kommt als der NERNSTsche Potentialsprung.

Dasselbe gilt von den Messungen von RIÉTY und ELISSAFOFF (§ 53, 54).

§ 71. Freundlichs Adsorptionstheorie. Die Frage, woher die bei den elektrosmotischen Erscheinungen wirksame Potentialdifferenz stamme, hat FREUNDLICH dahin beantwortet,[2]) daß sie auf Adsorptionserscheinungen der Ionen in den der Oberfläche oder den Wänden benachbarten Schichten der Flüssigkeit beruhe. Sobald Ungleichheiten in den Adsorptionskoeffizienten der verschiedenen Ionen existieren, müssen die dadurch verursachten Ungleichförmigkeiten der Verteilung derselben das Auftreten derartiger Potentialdifferenzen veranlassen.

Demnach hätte man sich vorzustellen, daß der NERNSTsche und der Adsorptions-Potentialsprung zwei voneinander fast unabhängige, übereinander superponierte Erscheinungen sind. Ersterer wäre unmittelbar an der Grenzfläche der beiden Medien lokalisiert, und die entgegengesetzt geladenen Schichten würden so fest aneinander haften, daß eine Verschiebung nicht in Betracht kommt; letzterer würde sich in eine Schichte von größerer Dicke erstrecken, deren einzelne Teile gemäß den hydrodynamischen Gleichungen zäher Flüssigkeiten gegeneinander verschiebbar sind.

Dieser Adsorptionstheorie gemäß erklärt sich also die bevorzugte Rolle der H, OH-Ionen dadurch, daß dieselben im Gegensatz zu den Salzen stark adsorbiert werden. Ist z. B. die einen indifferenten festen Stoff berührende Lösung schwach sauer, so werden sich die H-Ionen in der benetzenden Flüssigkeitsschicht anreichern: die Wand wird positiv gegen die Flüssigkeit erscheinen. In alkalischer Lösung tritt das Umgekehrte ein.

Tatsächlich weisen auch andere Erscheinungen auf die größere Adsorbierbarkeit dieser Ionen hin, auch erklärt sich leicht der von PERRIN konstatierte Einfluß zugesetzter Anionen und Kationen, ebenso wie die Gestalt der Konzentrationsfunktion. Geringe Zusätze bringen nämlich die größte Änderung im Potentialwert hervor, wenn der Neutralpunkt eben überschritten wird; ebenso charakterisiert die Adsorption das Merkmal, daß die Verdichtung an der Oberfläche (im Verhältnis zur Konzentration im Innern) am größten ist für die verdünntesten Lösungen. Auch das bei Kolloiden wahrgenommene Mitreißen der fällenden Ionen[3]) spricht sehr für diese Theorie.

[1]) Auch bei festen Körpern kann es bei elastischen Deformationen zu einer Dehnung der Oberfläche kommen; ist der Körper von einem Elektrolyten umgeben, so ruft dies eigentümliche elektrische Wirkungen hervor. Vgl. KROUCHKOLL, Ann. chim. phys. **17.** 129. 1889; E. GUILLAUME, C. R. **147.** 53. 1908; J. PERRIN, ebd. p. 55.

[2]) H. FREUNDLICH u. E. MÄKELT, Ztschr. f. Elektrochem. **15.** 161, 1909. — H. FREUNDLICH, Kapillarchemie 1909. p. 244ff.

[3]) Und zwar werden verschiedene Ionen in annähernd äquivalenten Mengen mitgerissen: H. PICTON u. S. E. LINDER, Journ. Chem. Soc. **67.** 63. 1895. — W. R. WHITNEY u. E. J. OBER, Ztschr. phys. Chem. **39.** 630. 1902. — H. FREUNDLICH, Koll. Ztschr. **1.** 321. 1907.

Allerdings findet es FREUNDLICH[1]) später für nötig, die obige Theorie einigermaßen zu modifizieren. Auf Grund der von ELISSAFOFF ausgeführten Versuche (§ 54) bemerkt er, daß weder PERRINS Theorie zu halten ist, welche alles auf die Beweglichkeit der H- und OH-Ionen zurückführt, noch HABERS osmotische Theorie, noch FREUNDLICHS Adsorptionstheorie in ihrer ursprünglichen Gestalt. Wäre nämlich die oben gegebene Erklärung der Doppelschicht durch verschiedene Adsorption der Ionen richtig, so müßten die stark adsorbierbaren Anionen organischer Säuren eine negative Aufladung der Wand begünstigen (wie die Alkalien), was sich nicht bestätigt. Die Verfasser schließen, daß die elektrischen Eigenschaften der Wand eine eigene, von der Art des Materials abhängende Ursache haben, und daß die Adsorption nur mittelbar, durch Änderung der Konzentration des (ganzen) Salzes an der Wand, ins Spiel tritt.

Die Adsorptionstheorie hat gewiß viel Wahrscheinlichkeit für sich, denn es ist ja von vornherein klar, daß die gerade in den Grenzschichten sich abspielenden Adsorptionsvorgänge für die elektrosmotischen Erscheinungen von maßgebender Bedeutung sein müssen, wenngleich sie noch keine endgültige Erklärung bildet, da eben der Mechanismus der Adsorption selber noch nicht genügend klargelegt ist.

Die Erkenntnis des Zusammenhanges dieser beiden Gruppen von Erscheinungen ist jedenfalls von großem Werte, wenn auch die Aufgabe noch zu lösen bleibt, eine klare theoretische Begründung des empirischen, auf die Adsorption bezüglichen Materials zu geben. Die eigentliche Ursache der elektrischen Doppelschicht würde allerdings durch die „modifizierte" Adsorptionstheorie nicht erklärt werden, und wir müssen gestehen, daß wir heute von einem wahren Verständnis des Mechanismus dieser Erscheinungen noch weit entfernt sind.[2])

341

E. Rückblick auf die Doppelschicht-Theorie.

§ 72. Mängel der Theorie Helmholtz, Ionentheorie. Nach dem im letzten Abschnitt Gesagten erscheint es wohl sicher, daß eine vollständige Theorie der elektrosmotischen Erscheinungen, welche dem Einfluß der physikalischen und chemischen Faktoren Rechnung tragen würde, sich erst auf Grund eingehender Kenntnis der Adsorptionserscheinungen entwickeln lassen wird; dabei werden die Rechnungen eine grundsätzliche Abänderung im Sinne der Ionentheorie erfordern. Die kontinuierlich verlaufende Doppelschicht bildet ja nur einen makroskopischen Begriff, der sich bei mikroskopischer Betrachtung in eine Anhäufung diskreter Ionen auflösen muß.

Die HELMHOLTZsche Theorie ist also nur als eine provisorische, die formalen Gesetze allerdings vortrefflich erklärende Theorie anzusehen, sie bedarf der weiteren Ausbildung durch Berücksichtigung des Mechanismus der elektrischen Erscheinungen, d. i. der elektrolytischen Wanderung und der Verteilungsgesetze der Ionen.[3]) Hierdurch wird einerseits die in die HELMHOLTZsche Theorie als rein empirische Größe eingehende Potentialdifferenz der Doppelschicht in ihrer Abhängigkeit von den maßgebenden chemischen Faktoren dargestellt werden, andererseits werden die

---

340

[1]) H. FREUNDLICH und G. v. ELISSAFOFF, Ztschr. f. phys. Chem. **79**. 407. 1912.

[2]) Ionen, welche sich in der Nähe der Grenzfläche zweier Dielektrika befinden, müssen gewissen elektrostatischen Anziehungskräften ausgesetzt sein, die vom Verhältnis der Dielektrizitätskonstanten abhängen. Vielleicht könnte dies einen Anknüpfungspunkt an die COEHNsche Regel geben. Siehe auch W. NERNST, Zeitschr. f. phys. Chem. **13**. 532. 1894. Auch sei auf eine interessante theoretische Arbeit von L. GOUY, Bull. Soc. Franc. Phys. 1910. p. 148, über Ionenverteilung in der Nähe einer statisch geladenen Oberfläche eines Elektrolyten hingewiesen. Einen anderen Weg zu einer formalen Theorie kann NERNSTS Hypothese von der Existenz eines spezifischen Teilungskoeffizienten der Ionen bilden: W. NERNST, Ztschr. f. phys. Chem. **9**. 139. 1892. Siehe auch die im § 55 erwähnten theoretischen Spekulationen GRUMBACHS (Journ. d. phys. **2**. 283, 385. 1912).

341

[3]) Siehe auch ~~den Nachtrag zu~~ § 37.

theoretischen Formeln in einem wesentlichen Punkte ergänzt werden. Helmholtzs Berechnungsweise setzt nämlich eine überall konstante Ohmsche Leitfähigkeit des flüssigen Mediums voraus. Sie ist also wohl auf Wasser und elektrolytische Lösungen anwendbar, aber nur in Fällen, wo keine merklichen Konzentrationsunterschiede auftreten, dagegen ist ihre Anwendung auf isolierende Dielektrika, wie Benzol, Hexan usw., in welchen Erscheinungen des Sättigungsstromes auftreten, nur in sehr beschränktem Maße gestattet. Im Falle von Kapillarröhren bleibt sie noch teilweise gültig, aber bei ungleichförmiger Stromverteilung, wie z. B. bei Kataphorese, müssen die Abweichungen vom Ohmschen Gesetz die Erscheinungen ganz bedeutend modifizieren.

Unter anderen hat Warburg[1]) darauf hingewiesen, daß schlechtleitende dielektrische Flüssigkeiten infolge von Ungleichförmigkeiten der Leitfähigkeit mechanischen Volumkräften ausgesetzt sind, welche die Entstehung von Strömungen veranlassen können.

Grundsätzliche Verschiedenheiten des Mechanismus der Elektrizitätsleitung bedingen auch den tiefgreifenden Unterschied zwischen elektrosmotischen Erscheinungen in (elektrolytischen) Flüssigkeiten und gewissen in Gasen sich abspielenden Vorgängen, welche auf den ersten Blick eine gewisse oberflächliche Ähnlichkeit aufweisen, wie z. B. die Entfernung von Rauch, Nebelteilchen aus Luft mittels eines elektrischen Feldes, die Elektrisierung von ionisierter Luft beim Durchströmen von Röhren u. dergl.

F. Zusammenhang mit der Reibungselektrizität fester Körper.

§ 73. Ähnlichkeiten und Unterschiede des Mechanismus der Stromerzeugung. Es hat schon Helmholtz[2]) in seiner für die Elektrosmose grundlegenden Abhandlung „Über elektrische Grenzschichten" den Gedanken ausgesprochen, daß die Elektrizitätserregung durch Reibung fester Körper nahe verwandt ist mit der Erzeugung der Strömungsströme. Dieser Gedanke hat allgemeine Zustimmung gefunden, da so erstere, noch immer so dunkle Erscheinung auf ein klar erkanntes, quantitativ verfolgbares Phänomen zurückgeführt würde, und seitdem bezeichnen manche Autoren die elektrosmotischen Erscheinungen geradezu als „reibungselektrische".

Der Mechanismus beider Arten von Erscheinungen weist jedoch ganz charakteristische Unterschiede auf, welche bei dieser Gelegenheit hervorgehoben seien:

1. Bei den Strömungsströmen bleiben Flüssigkeit und feste Körper in dauerndem Kontakt; es entstehen Potentialdifferenzen zwischen den verschiedenen Teilen der Flüssigkeit. Für die Reibungselektrisierung fester Körper ist es wesentlich, daß die aneinander geriebenen Körper, oder wenigstens die betreffenden Teile der Oberflächen derselben wieder voneinander entfernt werden; dabei werden auf den beiden getrennten Körpern entgegengesetzte Ladungen frei. Die Strömungsströme hängen wesentlich zusammen mit Verschiebung der oberflächlichen Flüssigkeitsschichten in tangentialer Richtung; die geweckte elektromotorische Kraft ist proportional der Strömungsgeschwindigkeit. Bei der Reibungselektrisierung scheint die mechanische Reibung eine untergeordnete Rolle zu spielen und es scheint der Kontakt der Körper das Maßgebende zu sein; die erhaltenen Potentialdifferenzen sind nach Peclet von der Reibungsgeschwindigkeit unabhängig.

Daß es auf den Kontakt ankommt, zeigt sich insbesondere deutlich bei Versuchen, bei denen feste Körper in Flüssigkeiten eingetaucht werden und nach dem Herausziehen, falls sie nicht benetzt werden, elektrische Ladungen tragen. An

[1]) E. Warburg, Wied. Ann. **54**. 398. 1895.
[2]) H. v. Helmholtz, l. c. § 10.

Quecksilber sind solche Erscheinungen schon seit langem bekannt (vgl. z. B. WIEDEMANN, Elektrizität I, p. 907); ähnliche Beobachtungen quantitativer Art hat neuerdings CHRISTIANSEN mit Benutzung verschiedener Flüssigkeiten resp. wässeriger Lösungen angestellt.[1]) Er verfuhr dabei in der Weise, daß er die Flüssigkeit in ein (eventuell mit Wachs, Harz, Paraffin u. dergl. ausgekleidetes) Glasrohr einsaugte und dann wieder austrieb. Die dabei entstehende Ladung gab sich am Ausschlag eines Elektrometers zu erkennen, welches mit einem die Glasröhre umhüllenden Stanniolstreifen verbunden war.

2. Bei der Reibung fester Körper kommen drei Medien in Betracht, und es ist wahrscheinlich, daß das bei dem Vorgange anwesende Gas auch eine gewisse Rolle spielt. Direkte Beweise sind wohl kaum vorhanden, aber der von LENARD, J. J. THOMSON u. a. konstatierte Einfluß der Gasatmosphäre auf die einigermaßen verwandten Erscheinungen der Wasserfallelektrizität (siehe Bd. I Abschnitt IIIc) läßt auch hier eine analoge Wirkung erwarten. Dies bedingt naturgemäß eine bedeutende Komplikation.

Der Mechanismus beider Arten von Phänomenen ist also grundsätzlich verschieden, wenn auch eine gemeinsame Grundlage im Bestehen der elektrischen Doppelschichten an den Grenzflächen der Dielektrika gegeben ist.

§ 74. Analogien in der Abhängigkeit von der chemischen Natur der Stoffe. Die Verwandtschaft der Reibungselektrisierung mit den elektrosmotischen Erscheinungen gibt sich auch in der Abhängigkeit derselben von der Natur der in Betracht kommenden Stoffe zu erkennen.

Von der COEHNschen Regel und den vom Urheber derselben als Stütze herangezogenen Spannungsreihen fester Dielektrika war schon im § 45 die Rede. HESEHUS[2]) nimmt diese Regel als richtig an und bringt sie in Verbindung mit Beobachtungen von GEORGIEWSKI, denen zufolge sich beim Kontakt chemisch gleichartiger Körper der dichtere (somit größere Dielektrizitätskonstante besitzende) positiv laden würde; die Spannungsreihe der festen Dielektrika würde übrigens nach HESEHUS' Ansicht mit der Reihe der Härtegrade übereinstimmen. Er sucht diese Regeln auch durch eine auf die Elektronentheorie gestützte Erklärungsweise zu stützen, welche jedoch viel Hypothetisches enthält.

An PERRINs elektrosmotische Untersuchungen erinnern die Resultate einer Arbeit von KNOBLAUCH,[3]) die den großen Einfluß saurer oder alkalischer Reaktion der in Berührung kommenden festen Körper dargetan haben. Dieser Verfasser streute verschiedene Substanzen (75 Stoffe) in Pulverform auf feste Platten (Platin, Glas, Schwefel, Paraffin) und untersuchte die nach Abklopfen des Pulvers auf der Platte verbleibende Ladung. Demgemäß laden sich alkalisch reagierende Stoffe (wie Glas) mit Vorliebe positiv, sauer reagierende Stoffe (wie Schwefel) negativ, neutrale Stoffe (Platin, Paraffin) werden positiv durch Kontakt mit organischen Säuren, negativ durch basische Farbstoffe, welch letztere überhaupt hervorragend befähigt sind, negative Ladungen zu erzeugen.

KNOBLAUCH erinnert behufs Erklärung dieser Erscheinungen an die von vielen Beobachtern nachgewiesene Existenz einer Wasserhaut auf der Oberfläche der festen Körper und versucht den Mechanismus der Elektrisierung auf die Verschiedenheit der Diffusion der H und OH-Ionen zurückzuführen, welche bei Berührung zweier Körper (resp. ihrer Wasserhäute) ins Spiel tritt.

Dagegen beruft sich FREUNDLICH[4]) auf die Analogie mit Adsorptionsvorgängen und mit PERRINs Resultaten. Nach PERRIN würde z. B. eine saure Lösung negativ

[1]) C. CHRISTIANSEN, Overs. Dansk. Vid. Selsk. Forh. 1909. p. 581; 1911 p. 238; Ann. d. Phys. **40.** 107 233. 1913.

[2]) N. HESEHUS, Journ. russ. phys. Ges. **33.** 1, 48, 77. 1901; **34.** 1, 15, 25. 1902; **35.** 478, 482, 575. 1903; **37.** 29. 1905; **42.** 367. 1910.

[3]) O. KNOBLAUCH, Ztschr. f. phys. Chem. **39.** 225. 1902.

[4]) H. FREUNDLICH, Kapillarchemie 1909. p. 264.

werden gegenüber einer neutralen Wand; ebenso wird hier ein mit saurer Wasserhaut bedeckter Körper negativ gegen einen neutralen Körper; letzterer wird positiv durch Kontakt mit Säuren.

Interessante Parallelvergleiche mit PERRINS, RIÉTYS, ELISSAFOFFS und RIDSDALE ELLIS' Versuchen über den Einfluß von Säure- oder Alkali-Zusatz auf die Größe der Doppelschicht-Potentiale geben auch CHRISTIANSENS oben erwähnte Versuche über Elektrisierung von Isolatoren durch Berührung mit Flüssigkeiten. Dieselben zeigten, daß Paraffin, Wachs, Ceresin, Pech, Harz, Schellack, Spermazet, Kampher nach Berührung mit reinem Wasser (ebenso auch mit Quecksilber) negative Ladung besitzen; ferner, daß die Ladung bei Säurezusatz abnimmt,[1]) in ca. 0,001 norm. Lösungen von HCl, HNO_3 verschwindet, für größere Konzentrationen positiv wird, bei ca. 0,01 Normalität ein positives Maximum erreicht und dann bei noch stärkerer Konzentration wieder abnimmt. Verschiedene Säuren (HCl, HNO_3, H_2SO_4, H_3PO_4, CH_3COOH) erweisen sich dabei ganz gleichwertig, wenn sie in Konzentration von gleicher Leitfähigkeit angewandt wurden. Salze verminderten ebenfalls die negative Ladung, aber viel schwächer als Säuren; Lösungen von Zucker oder Glyzerin verhielten sich nur wenig verschieden von reinem Wasser. Basen lassen sich nicht in analoger Weise untersuchen, da sie die Körper benetzen. Aus alledem scheint hervorzugehen, daß es sich um Wirkungen der H-Ionen handelt, welche sich hier in ganz ähnlicher Weise äußern wie in den elektrosmotischen Erscheinungen.

CHRISTIANSEN führte auch eine Versuchsreihe aus[2]), in welcher Wasser (mit verschiedenen Zusätzen), durch einen Luftstrom zerstäubt, in ein Rohr aus Glas, Elfenbein, Platin gespritzt wurde; dabei wurde die Elektrizitätsentwicklung an der Innenfläche jenes Rohres, wo die Tröpfchen sich sammeln, gemessen und es stellten sich von den früheren etwas abweichende Resultate heraus. Doch ist es nicht leicht, diese Versuche zu deuten, da hierin wohl sicher infolge des Zerspritzens der Tröpfchen außer der Doppelschicht Flüssigkeit—Wand auch die Doppelschicht Flüssigkeit—Luft eine Rolle spielt. Diese Versuche gehören somit überhaupt in das Kapitel der kapillarelektrischen Erscheinungen und reihen sich hier unmittelbar den Versuchen über Wasserfallelektrizität u. dergl. an. ~~Siehe diesbezüglich: Band I, III c.~~

Das gemeinsame Band aller dieser verschiedenartigen Erscheinungen [Elektrosmose, Kontakt- und Reibungselektrisierung, kapillarelektrische Phänomene] ist jedenfalls das Bestehen der Doppelschichten an den Grenzflächen sich berührender Medien, sowie die Bedeutung der Adsorptionsvorgänge für dieselben. Unter ihnen allen zeichnen sich doch noch die elektrosmotischen Erscheinungen durch den am wenigsten komplizierten und am ehesten theoretisch zugänglichen Mechanismus aus, und es ist wohl von hier aus Aufklärung für die anderen Gebiete zu erhoffen. Wie aus unserer Übersicht hervorgeht, fehlt es aber noch sehr an systematischem, genau definiertem Versuchsmaterial.

---

[1]) In einigen Fällen wurde bei ca. 10^{-5} Normalität ein negatives Maximum konstatiert.

[2]) C. CHRISTIANSEN, Overs. Dansk. Vid. Selsk. Forh. 1911. p. 209.

~~[Abschluß des Manuskriptes: März 1912; Nachträge bis Ende 1913.]~~

205

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

KOHLRAUSCH, FRIEDRICH, Gesammelte Abhandlungen. Herausgegeben von Wilhelm Hallwachs, Adolf Heydweiller, Karl Strecker, Otto Wiener. I. Band (Elektrizität, Wärme, Optik, absolute Messungen und Verschiedenes). XXXVI, 1108 Seiten mit einem Bildnis des Verf., 1 Tafel und 117 Figuren im Text. 1910. M. 25.—, geb. M. 27.—.
II. Band (Elektrolyte, Elektrolytische Leitung, Leitvermögen und Polarisation, Physik der Lösungen). LXXII, 1305 Seiten. Mit einem Lebensbild des Verfassers von A. Heydweiller, 5 Tafeln und 84 Figuren im Text. 1911. M. 30.—, geb. M. 32.—.

Kohlrausch's Abhandlungen, in denen sein Lebenswerk niedergelegt ist, wurden hiermit in einheitlicher Darstellung herausgegeben, sie stellen ein gerechtes und kennzeichnendes Denkmal für sein reiches Wirken dar.
Die Abhandlungen sind nicht nur für Physiker, sondern auch für Physiko-Chemiker, Elektrotechniker usw. von hervorragendem Interesse.

LOMMEL, Dr. E. von, Lehrbuch der Experimentalphysik. 20. bis 22. neubearbeitete Auflage, herausgegeben von Prof. Dr. Walter König in Gießen. X, 652 Seiten mit 439 Figuren im Text und einer Spektraltafel. 1913. M. 6.60; geb. M. 7.50.

Fast in jedem Jahre wird eine starke Auflage verkauft und es ist dies der beste Beweis dafür, daß das Buch für das Examen und das Selbststudium ein praktischer Führer ist. Von vielen Gelehrten wird es als das beste Lehrbuch der Physik bezeichnet, das es gegenwärtig gibt.
Die neue Auflage ist auf den modernsten Standpunkt der Wissenschaft gebracht.

MACH, E., Populär-wissenschaftliche Vorlesungen. 4., vermehrte u. verbesserte Aufl. XII, 508 S. mit 73 Abbildungen. 1910. M. 6.80; geb. M. 7.50.
Naturwissenschaftliche Wochenschrift: Die geistreichen Vorträge des trefflichen Gelehrten gehören zu dem Gediegensten, was die Literatur in diesem Genre besitzt. Sie stehen auf derselben Stufe, wie etwa Helmholtz' Vorträge.

BRAGG, W. H., Durchgang der α-, β-, γ- und Röntgenstrahlen durch Materie. Deutsch von Dr. Max Iklé. IV, 239 Seiten mit 70 Abbildungen. 1913. M. 6.80, geb. M. 7.80.

Die Ergründung des Verhaltens der radioaktiven Strahlen und der Röntgenstrahlen bei ihrem Durchgang durch die Materie nach dem Verlassen der Strahlungsquelle hat wichtige Aufschlüsse über den inneren und innersten Bau der Materie geliefert. Eine zusammenfassende Übersicht über das bisher Erreichte war ein dringendes Bedürfnis, und diese Lücke auszufüllen war kaum jemand berufener, als der Professor der Physik an der Universität Cambridge, Herr W. H. Bragg. Der Verfasser hat hier eine klare und übersichtliche, bei aller Kürze umfassende Zusammenstellung der eigenen Forschungsergebnisse, sowie der Ergebnisse fremder Arbeiten geboten: auch die deutsche Übersetzung hat er durchgesehen.

OSTWALD, W., Die Energie. 2. Aufl. 167 Seiten. 1912. Geb. M. 4.40.
Münchner Neueste Nachrichten: Erst kürzlich ist an dieser Stelle auf ein ähnliches Werk Ostwalds hingewiesen, in welchem er das Werden einer Wissenschaft schildert. In diesem neuesten Buch nun schildert er in gleich hervorragender Weise das Werden der Energie und des Lebens, das Walten der Energie in allen Lebens- und Umformungserscheinungen; und das mit einer Meisterschaft, in einer Sprache, die bewundernswert ist. Es ist eine Lust, ein solches Buch zu lesen.

PLANCK, MAX, Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung. 2. Aufl. VIII, 206 Seiten mit 7 Abbildungen. 1913. M. 7.—, geb. M. 7.80.
Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure: Das vorliegende Werk über Theorie der Wärmestrahlung dürften wir rückhaltslos als eine Leistung allerersten Ranges begrüßen. Das ist vielleicht das Bewunderungswerteste an dem Buche, zu sehen, mit wie geringen Mitteln der Verfasser es verstanden hat, den Leser auf die Höhe der Forschung zu bringen.
Physikalische Zeitschrift: Planck war zweifellos der berufene Mann, um ein Lehrbuch über die Theorie der Wärmestrahlung zu schreiben, da er an der Entwicklung derselben einen hervorragenden Anteil genommen hat.

WEINSTEIN, B., Die Physik der bewegten Materie und die Relativitätstheorie. XII, 424 Seiten. 1913. M. 16.—, geb. M. 18.—.

Der Verfasser hat die Physik der bewegten Materie und die Relativitätslehre, die zu ihr gehört, so sorgfältig als nur möglich behandeln wollen. Mitteilung der Tatsachen und Theorien ist der eine Zweck seines Buches, eingehende Kritik der Versuchsergebnisse und der Grundlagen ist der andere. Auf Klarheit der Kenntnisse und Erkenntnisse geht das Buch aus. Die modernen und modernsten Lehren sind behandelt, aber auch diejenigen Lehren, die mancher schon als „abgetan" erachtet, obwohl sie früher das Fundament dieser Wissenschaft gebildet haben.
Wenn die Relativitätstheorie auch im Mittelpunkt der Darstellung steht, so konnte der Zweck einer kritischen Darstellung doch nur durch Einbeziehung der ganzen Physik der bewegten Materie erreicht werden. Hierdurch dürfte dem Buch ein dauernder und weiterer Wert verliehen worden sein.

CLIFFORD, WILLIAM KINGDON, Der Sinn der exakten Wissenschaft in gemeinverständlicher Form dargestellt. Deutsche Übersetzung nach der 4. Auflage des englischen Originals von Dr. Hans Kleinpeter. IX, 281 Seiten mit 100 Abbildungen im Text. 1913. M. 6.—, geb. M. 6.75.

Der Verfasser war Mathematiker und Erkenntnistheoretiker in einer Person. Er trennt streng zwischen den Begriffen Zahl, Raum, Größe, Lage. Sein Verfahren hat der Form wie dem Inhalt nach bestechende Vorzüge und die Ergebnisse seiner Methode sind auch für den Unterricht in den Schulen von hoher Bedeutung, für Philosophen, Naturwissenschaftler, Lehrer usw. Auch der Fachmann wird seine Ausführungen mit hohem Genusse lesen.

SCHLOEMILCH's Handbuch der Mathematik. 2. Aufl. Herausgegeben von Prof. Dr. R. Henke und Dr. R. Heger. 3 Bände. Mit vielen Abbildungen im Text und auf Tafeln. 1904. M. 60.—; geb. M. 67.50.
I. Band. Elementarmathematik. XII, 611 S. mit 321 Fig. 1904. II. Band. Höhere Mathematik. *I. Teil.* VIII, 765 S. mit 281 Fig. und 12 Tafeln. 1904. III. Band. Höhere Mathematik. *II. Teil.* VIII, 622 S. mit 94 Fig. und 20 Tafeln. 1904.

Zeitschr. f. physikal. Chemie: Man findet die Darstellung überall ungemein schlicht bei aller sachlichen Strenge, und so wird der Jünger, der sich diesen seit der halbvergessenen Schulzeit vom Geruch außerordentlicher Schwierigkeiten erfüllten Hallen, der Not gehorchend, nicht dem eignen Trieb, zu nähern wagt, sich freundlich berührt fühlen von der Unmittelbarkeit, mit der er geführt wird.
Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß das bewährte Werk sich auch den neu heranwachsenden Geschlechtern als ein zuverlässiger und verhältnismäßig bequemer Führer bewähren und lieb machen wird.

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

GRAF, E., Technische Berechnungen für die Praxis des Maschinen- und Bautechnikers. Ein Handbuch über gelöste Beispiele aus der gesamten Mechanik der Maschinen-, Holz- und Bautechnik, einschließlich Eisenbeton- und Brückenbau. Schmal-8°, VIII, 374 Seiten. 1909. Geb. M. 6.80.

Annalen der Elektrotechnik: Die vorgeführten Beispiele sind durchweg äußerst glücklich gewählt und klar und deutlich an Hand guter Skizzen durchgerechnet. Wir glauben, daß das Buch, welches in praktischem Format vorzüglich ausgestattet ist, sich sehr schnell einen dauernden Platz bei allen Technikern sichern wird.

SODDY, FREDERICK, Die Chemie der Radio-Elemente. Deutsch von Dr. Max Iklé. I. Teil: 176 Seiten mit 1 Tafel. 1912. M. 4.—, geb. M. 4.80.
II. Teil: **Die Radio-Elemente und das Periodische Gesetz.** 85 Seiten mit Abbildungen. 1914. M. 2.—, geb. M. 2.80.

Die sehr zahlreichen, mehr oder minder ausführlichen Werke über die Radioaktivität stimmen ausnahmslos darin überein, daß sie nahezu ausschließlich die physikalische Seite des Gebietes behandeln. Sie führen uns die physikalischen Wirkungen und Erscheinungen sowie die physikalischen Methoden zum Nachweise der radioaktiven Substanzen vor Augen. Eine ganz abweichende Stellung nimmt das vorliegende Buch von Soddy ein. Zum ersten Male ist hier, und zwar von allerberufenster Seite, der Versuch unternommen worden, die nicht minder interessante chemische Seite des Gebietes zu beleuchten. So lernen wir denn, wie sich die verschiedenen radioaktiven Elemente in chemischer Hinsicht voneinander unterscheiden, und wie sie voneinander und von inaktiven Elementen getrennt werden können. Für das radioaktive Laboratorium bildet dieses Buch, das auch noch den Vorzug der Kürze besitzt, ein wertvolles Nachschlagewerk.

WEGENER, ALFRED, Thermodynamik der Atmosphäre. VIII, 331 S. mit 143 Abbildungen im Text und auf 17 Tafeln. 1911. M. 11.—, geb. M. 12.—.

Das Gesamtgebiet der atmosphärischen Physik läßt sich in dieselben Abschnitte einteilen, welche auch sonst in der Physik Verwendung finden, nämlich in Thermodynamik, Mechanik, Strahlungslehre, Elektrizität, Optik (Akustik). Eine einheitliche Bearbeitung aller dieser Gebiete ist bei der Thermodynamik am meisten zum Bedürfnis geworden, denn die Aerologie bedarf heute mehr als andere Zweige der Meteorologie einer Durchdringung mit theoretischen physikalischen Ideen. Das Buch ist mit zum Teil sehr subtilen Wolkenbildern und in anderer Weise reich illustriert.

BOYS, C. V., Seifenblasen, ihre Entstehung und ihre Farben. Vorlesungen über Kapillarität. Autorisierte deutsche Ausgabe von Prof. Dr. G. Meyer, Freiburg i. B. Zweite, vermehrte Auflage. VIII, 152 Seiten mit 79 Abbildungen im Text, 1 lithographischen und 1 farbigen Tafel. 1913. M. 5.—, geb. M. 6.—.

Das Buch enthält unter Vermeidung mathematischer Entwicklungen eine auf Experimente gegründete Darstellung der Kapillaritätslehre. Die Versuche sind so ausgewählt, daß ihre Ausführung nur wenig Hilfsmittel beansprucht und auch dem weniger Geübten keine ernstlichen Schwierigkeiten bereiten kann.

Die neue englische Ausgabe ist fast auf den doppelten Umfang der ersten Auflage gebracht worden. Das Buch dürfte sich daher in Physikerkreisen auch dort einführen lassen, wo die erste Auflage schon vorhanden ist.

SCHUSTER, ARTHUR, F. R. S., **Die Ergebnisse der Physik** während 33 Jahren (1875—1908.) Vier Vorlesungen gehalten an der Universität Calcutta im März 1908. Autorisierte deutsche Ausgabe von Guido Szivessy. VIII, 156 Seiten mit 12 Figuren im Text. 1913. M. 3.20, geb. M. 4.—.

Diese Vorlesungen enthalten einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse, welche die Physik in den letzten 33 Jahren gemacht hat, bekanntlich eine Epoche, in welcher die physikalischen Anschauungen die tiefgehendsten Umwandlungen erfahren haben und zu deren Darstellung der Verfasser um so berufener war, als er sie als Forscher selbst mit erlebt hat. Bei der Ausarbeitung der Vorträge hat er Ergänzungen hinzugefügt, durch die dem augenblicklichen Stand der Physik Rechnung getragen wird, so daß die kleine Schrift tatsächlich einen Abriß der neuesten Geschichte der Physik und eine Skizze der gegenwärtigen Theorien und Anschauungen darstellt.

WOLF, MAX, Stereoskopbilder vom Sternhimmel. I. Serie. 4. Aufl. 12 Bilder mit Text in Mappe. 1913. M. 5.—.

Naturwissenschaftliche Rundschau: Die Wiedergabe aller dieser Bilder ist vorzüglich. Somit dürfte ein jeder, der sich diese Sammlung wissenschaftlicher Stereoskopbilder beschafft, daran viel Freude und einen hohen Genuß empfinden; er wird auch ihrem Autor Dank dafür wissen, daß derselbe trotz seiner sehr beschränkten Zeit so viel Mühe auf die Zusammenstellung dieser vorzüglichen Bilder verwendet hat.

Beiblätter zu den Annalen der Physik: Diese ausgezeichnete kleine Sammlung von Stereoskopbildern himmlischer Objekte gibt eine vortreffliche Vorstellung von der Möglichkeit der Anwendung der Stereoskopie in der Astronomie.

WEINHOLD, ADOLF F., Physikalische Demonstrationen. Anleitung zum Experimentieren im Unterricht an Gymnasien, Realgymnasien, Realschulen und Gewerbeschulen. 5., verbesserte und vermehrte Auflage. XII, 1097 S. mit 702 Abbildungen im Text und 7 Tafeln. 1913. M. 33.—, geb. M. 36.—.

Zeitschrift für Mathem. und Physik: . . . Die Beschreibung der Apparate und die Anordnung der Versuche ist so klar, so eingehend, so faßlich und wird durch eine so große Anzahl trefflich ausgeführter Figuren unterstützt, daß selbst derjenige, der sich noch wenig oder gar nicht mit der Anstellung von Unterrichtsexperimenten beschäftigt hat, sich nach dem W.schen Buche zurechtfinden und etwas Ordentliches leisten kann. — Auf die praktischen Ratschläge, die W. in seinem Buche gibt, kann sich jeder Experimentator ganz verlassen; da ist jede Einzelheit oft und gewissenhaft durchprobiert, jeder Teil der Versuchsanordnung ist wohlüberdacht. Von dem W.schen Buche darf somit eine wesentliche Verbesserung des physikalischen Unterrichts aus vielen Gründen erwartet werden. . . .

Mc KREADY, KELVIN, Sternbuch für Anfänger. Eine Anleitung zur Auffindung der Sterne und zum astronomischen Gebrauch des Opernglases, des Feldstechers und des Teleskops. Übersetzt von Dr. Max Iklé. VIII, 154 Seiten mit 77 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. 1913. Geb. M. 12.—.

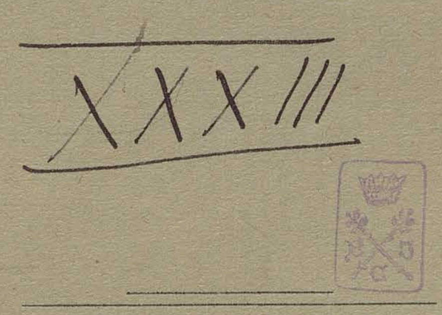
Das Buch beabsichtigt, denen zu helfen, die ohne instrumentelle Ausrüstung sich an den Erscheinungen des Himmels erfreuen möchten, ohne mit Formeln usw. beladen zu werden. Es soll den Leser ohne besonderen wissenschaftlichen Unterricht in den Stand setzen, die Objekte des Himmels aufzufinden und zu betrachten. Das Buch soll also gewissermaßen ein Baedeker für den Himmel sein. Besonders hervorzuheben sind die ganz vorzüglichen Abbildungen, die fast durchweg nach den neuesten und besten Aufnahmen der großen amerikanischen Sternwarten hergestellt worden sind.

Das Buch ist mit großer Begeisterung für die Schönheit des Universums geschrieben, und wird den besonderen Zwecken, die der Verfasser im Auge gehabt hat, in vorzüglicher Weise gerecht.

Metzger & Wittig, Leipzig.

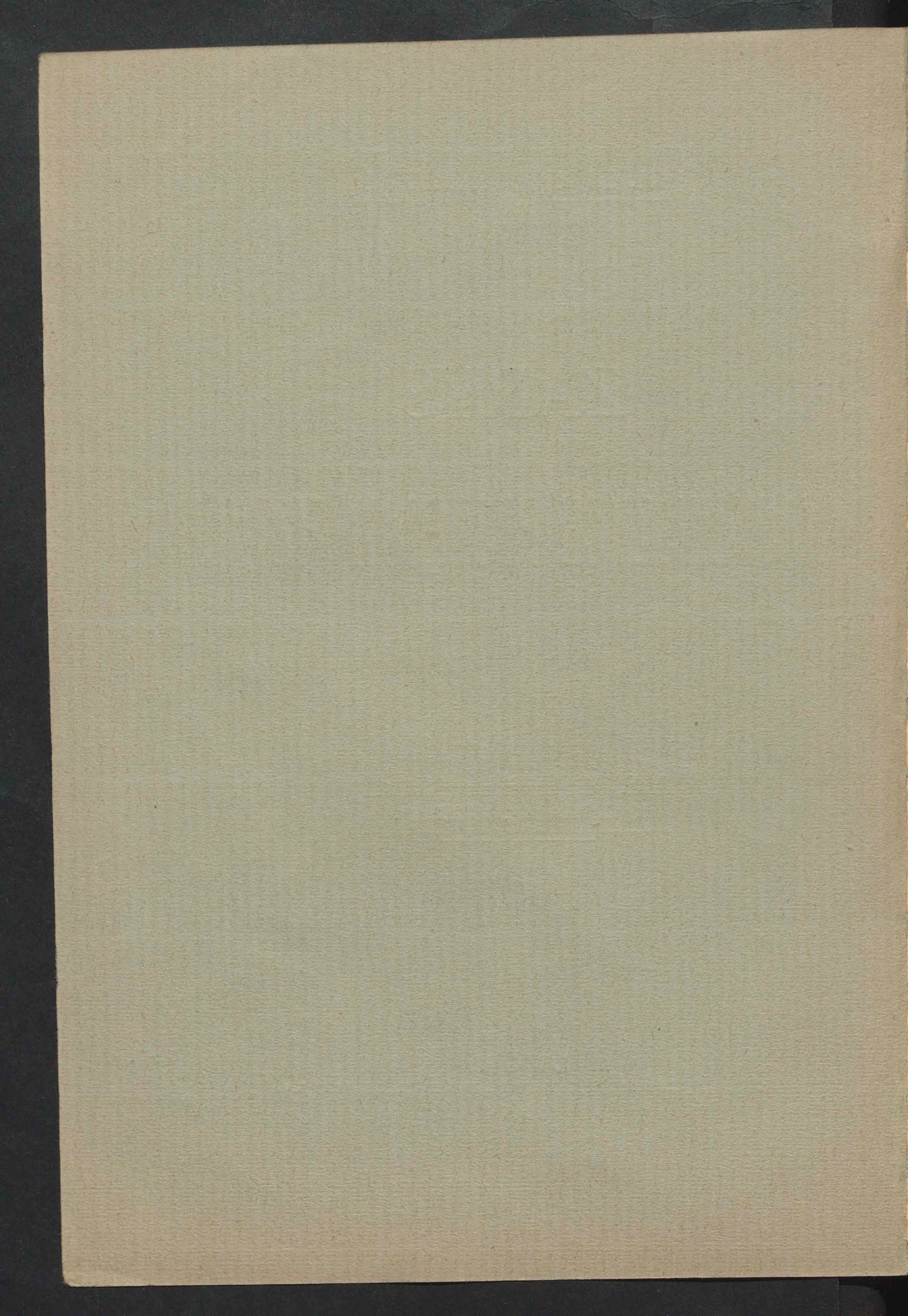
M. SMOLUCHOWSKI.

ZARYS
NAJNOWSZYCH POSTĘPÓW FIZYKI.



ODBITKA Z „MUZEUM“.

LWÓW.
Z I. ZWIĄZKOWEJ DRUKARNI WE LWOWIE UL. LINDEGO L. 4.
1907.



207

M. SMOLUCHOWSKI.

ZARYS

NAJNOWSZYCH POSTĘPÓW FIZYKI.



ODBITKA Z „MUZEUM".

LWÓW.
Z I. ZWIĄZKOWEJ DRUKARNI WE LWOWIE UL LINDEGO L. 4.
1907.

I.

W całej historyi nauk mało znajdziemy przykładów tak nagłej i doraźnej ewolucyi jak tej, która obecnie we fizyce się odbywa. Niejeden wychowany w poglądach fizyki z przed kilkunastu lat może nawet odnieść wrażenie, że nastąpiła nie ewolucya lecz zupełna, radykalna rewolucya w naszym światopoglądzie fizykalnym.

Z jednej strony runął dogmat, uważany za święty przez dotychczasową chemię, o niezmienności pierwiastków chemicznych i spełniło się marzenie dawnych alchemistów: przemiana jednego pierwiastka chemicznego w inny. W skutek tego sama nazwa „pierwiastek chemiczny“ straciła znaczenie pierwotne i podobnie jak słowo „atom“, została złożona do składu owych licznych wyrażeń przeżytych, któremi się jeszcze posługujemy, ażeby nie potrzeba wymyślać nowej terminologii, ale z któremi nie łączymy już pojęcia pierwotnego, odpowiadającego etymologicznemu znaczeniu słowa.

Z drugiej strony runęło naczelne prawo mechaniki Newtonowskiej, prawo niezmienności masy, do którego umysł ludzki już tak się przyzwyczaił, że nie brakło nawet usiłowań, ze strony niektórych płytko rozumujących filozofów, aby je pod nazwą prawa niezmienności „materyi“ przedstawić jako prawdę przez się a priori zrozumiałą. Co więcej, pojęcie masy mechanicznej i z nim się łączące, czyli raczej z nim pogmatwane, metafizyczne pojęcie materyi, owego namacalnego „substratu zjawisk fizycznych“, który niektórzy filozofowie uważali za to jedyne co rzeczywiście *istnieje*, w dziwnem oświetleniu się przedstawia ze stanowiska fizyki obecnej: ulatnia się to pojęcie jakoby mara, widziadło, a odnosimy wrażenie, że właściwą podstawą zjawisk natury jest *elektryczność*, i że tylko siły elektryczne nas zwodziły, łudząc nas, że istnieje jakiś świat materyalny, kierowany niezłomnemi prawami mechaniki.

Na pytanie, co spowodowało takie fundamentalne zmiany w naszym światopoglądzie, odpowiedzieć można dwoma słowami: teorya elektronów. Dzięki rozwojowi tej teoryi i badań doświadczalnych z nią połączonych, elektryczność wysunęła się na naczelne miejsce we fizyce, i od niej należy rozpocząć, chcąc rozumieć kierunek postępów obecnych.

Nazwa tej teoryi pochodzi z charakterystycznego dla niej poglądu, że elektryczność nie jest fluidum ciągłem, lecz składa się z drobnych, niepodzielnych cząstek, atomów elektrycznych, czyli elektronów. Ale to stanowi tylko jedno, najłatwiej w słowa dające się ująć z jej założeń; również zasadnicze znaczenie mają jej założenia co do działania sił elektromagnetycznych, o których trudno dać choć przybliżone pojęcie bez użycia wzorów matematycznych. Pod tym względem zaś można tę teoryę uważać za wydoskonalenie, w kierunku atomistycznym, teoryi elektryczności Maxwella. W celu lepszego jej zrozumienia zaczniemy zatem przedewszystkiem od historycznego poglądu na rozwój teoryi Maxwella.

Początkowo zjawiska elektrostatyki, galwanizmu, elektromagnetyzmu, elektrodynamiki i indukcyi tworzyły odrębne dziedziny, podlegające różnym prawom, doświadczalnie poznanym, ale między sobą nie powiązanym. Później niemieccy badacze Weber, Gauss, Riemann, Neumann i Clausius starali się złączyć je w całość jednolitą, tłumacząc owe zjawiska jako objawy sił pewnego rodzaju, wywieranych na odległość przez elektryczność w ruchu będącą. Z takich hipotez co do działania sił elektromagnetycznych (właszcza Webera „Grundgesetz" nabyło rozgłosu.

W przeciwstawieniu do owych dążności Maxwell zdołał ująć całokształt owych zjawisk w jednolity system, porzucając pojęcie „actionis in distans" i tłumacząc wszystko przez przenoszenie sił zapomocą eteru z punktu na punkt przylegający, lub jak w języku matematyki się wyrażamy: ujmując prawa owych zjawisk w równania różniczkowe.

Ażeby objaśnić znaczenie dwóch równań różniczkowych, stanowiących jądro teoryi Maxwella, mianowicie:

$$K\frac{\partial X}{\partial t}+\lambda X=\frac{\partial N}{\partial y}-\frac{\partial M}{\partial z}$$

$$\mu\frac{\partial L}{\partial t}=\frac{\partial Y}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial y}$$

(w których $X, Y, Z,$ są składowe siły elektrycznej, $L, M, N,$ składowe siły magnetycznej, λ spółczynnik przewodnictwa, K, μ stała

dielektryczna i magnetyczna) zaznaczę, że pierwsze wyraża znaną zasadę elektromagnetyzmu, że praca wykonana przez biegun jednostkowy magnetyczny przy okrążeniu przewodnika jest proporcyonalną do prądu przez tegoż przepływającego, a drugie zasadę indukcyi, że siła elektromagnetyczna indukowana w przewodniku zamkniętym równa się zmianie linij indukcyi magnetycznej przechodzących przez jego powierzchnię.

Te zasady same przez się już dawno przed Maxwellem były znane, ale jego dziełem jest ujęcie ich we formę równań różniczkowych, oraz pewna poprawka w pierwszem równaniu, o której dalej będzie mowa i dowód, że te równania w połączeniu z zasadą zachowania energii, ujętą w stosowną formę, wystarczą do wyprowadzenia praw Coulomba, Ohma, Joule'a, Biot-Savarta, że zastępują Ampère'a prawo elektrodynamiki, Faraday'a i Neumanna prawa indukcyi; jednem słowem: że obejmują całokształt klasycznych zjawisk elektromagnetycznych, a oprócz tego przewidywać dają jeszcze pewne inne zjawiska, za Maxwella jeszcze nieznane[1]).

Przewidywanie to opiera się właśnie na wspomnianej poprawce, polegającej na umieszczeniu wyrażenia $K\frac{\partial X}{\partial t}$ w owem pierwszem równaniu, co znaczy, że według Maxwella oprócz zwykłego prądu galwanicznego (według Ohma proporcyonalnego do siły elektrycznej X, a zatem λX) istnieje także jeszcze t. zw. prąd polaryzacyi, występujący w izolatorach przy zmianie siły elektrycznej i równający się iloczynowi z zmienności czasowej tej siły w stałą dielektryczną K, i że prąd ten takie same skutki magnetyczne wywołuje jak prąd galwaniczny[2]). Analiza matematyczna na podstawie tych założeń dochodzi do wniosku, że siły

---

[1]) Jako podręczniki do nauki o elektryczności (zgodnė z zapatrywaniami Maxwella) polecić należy: J. J. Thomson, Elemente d. math. Theorie d. Elektricität und d. Magnetismus (414 S.), Leipzig Vieweg [illegible] lub Classen Theorie d. Electricität u. d. Magnetismus 2 vol. Leipzig Göschen [illegible] jako świetnie napisane dzieło, dające jednak wyłącznie zarys charakterystycznych poglądów Maxwella: M. Abraham, Theorie d. Elektricität, Bd. I., Teubner (1904, [illegible]); doświadczalna i techniczna strona przedmiotu jest przedstawiona w zwięzły sposób ze stanowiska poglądów nowoczesnych w Starka Experim. Elektricitätslehre Teubner. 1904, 422 str. 6 Mk.

[2]) Sprawdzenie bezpośrednie tej genialnej hipotezy Maxwella rozbijało się dotychczas o trudności doświadczalne. Staranne pomiary Whiteheada (1906) dały

*

elektromagnetyczne muszą się rozchodzić na odległość z prędkością ściśle określoną, równą prędkości światła w próżni 300.000 km na sekundę, podobnie jak wstrząśnienia w ciałach sprężystych się rozchodzą z prędkością głosu; z tem wiąże się rezultat, że przy odpowiednich warunkach powstać muszą drgania i fale elektromagnetyczne, t. j. peryodycznie zmienne stany napięcia elektrycznego, zupełnie analogiczne do zjawisk akustycznych, z tą jednak różnicą, że nie są to fale podłużne lecz poprzeczne.

Jak wiadomo przewidywania te Maxwella sprawdzone zostały przez Hertza w jego sławnych doświadczeniach nad falami elektrycznemi, co dla nauki tę miało konsekwencyę, że ustąpić musiały dawne teorye „actionis in distans“ i przyjętą teoryę Maxwella, jako jedyną, która te zjawiska tłumaczy; a także w tem Maxwellowi rację przyznano, że zjawiska optyczne w najwłaściwszy sposób się tłumaczą przez przyjęcie, że światło polega właśnie na takich falowaniach elektrycznych (patrz rozdz. II.).

Nawet elektrotechnika obecna nietylko przesiąkła na wskróś pojęciami Faradaya i Maxwella, uprzystępniającemi tak znakomicie zrozumienie zjawisk elektromagnetycznych (jak linie siły elektrycznej, linie indukcyi magnetycznej, analogia przewodników galwanicznych i magnetycznych i t. p.), ale właśnie środki do wytwarzania owych fal elektrycznych[1] i dostrzegania ich tak dalece w ostatnich latach wydoskonaliła, zwłaszcza przez wynalezienie t. zw. koherer

ów, że zjawiska te jako „telegrafia bez drutu“ coraz poważniejszego handlowo-ekonomicznego znaczenia nabywają, a nawet już pewną historyczną rolę odegrały podczas ostatniej wojny japońsko-rosyjskiej.

Na tym polu drgań elektrycznych okazała się również płodność poglądów Maxwella, zwłaszcza w wykryciu związków między światłem elektryczności i optyki; ale z drugiej strony właśnie zjawiska także dowiodły, że teorya ta nie jest jeszcze wykończoną, że forma, którą jej nadał Maxwell, stanowi tylko pewne prowizoryum. O ile chodzi o drgania Hertza (i wogóle

---

wprawdzie wynik dodatni, ale [illegible] z powodu swej małości nie dość przekonywujący. Właściwym dowodem jest sprawdzenie pośrednie, na podstawie drgań Hertza.

[1]) Popularny wykład o tych zjawiskach, z ogólnym wstępem o nowoczesnej teoryi elektryczności daje Geitler w książce: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen, Vieweg 1905, 121 str. 5 Mk. 20, podobnie Richarz: Neuere

o stany eteru), zdaje się ona być bez zarzutu, ale jeżeli chcemy nią objąć także drgania 10.000 razy szybsze, które odpowiadają zjawiskom optyki, dochodzimy do wniosku, że owe trzy spółczynniki, które w równaniach powyżej przytoczonych charakteryzują różne materyały (stała dielektryczna, magnetyczna, i przewodnictwo właściwe), nie mogą wystarczyć do oddania tych nadzwyczajnie skomplikowanych właściwości optycznych, jakie różne środki materyalne okazują (dyspersya, tysiące linij w widmach pewnych pierwiastków). A równocześnie ukazuje się tu droga do dalszego postępu, gdyż te właściwości niewątpliwie zależą od struktury atomistycznej ciał i od budowy atomów samych. A że [illegible] atomy chemiczne muszą posiadać wewnętrzną budowę złożoną, to wydawało się konkluzyą konieczną wynikającą ze skomplikowanej struktury widma przez nie wydawanego, jak i z wielkiej komplikacyi praw absorpcyi i dyspersyi optycznej.

Tą drogą argumentacyi Lorentz już w swych pracach z r. 1878 doszedł do wniosku, że teoryę elektryczności należy wykształcić w kierunku atomistycznym, przez uwzględnienie wewnętrznej budowy materyi, i w tym kierunku coraz śmielej postępował w swych późniejszych pracach, obejmując coraz szerszy zakres zjawisk optycznych i elektrycznych.

Złączyły się z tym tokiem myśli pewne zapatrywania, które zrodziły się na zupełnie innem polu, z rozważań nad pewnemi zjawiskami wówczas nieco oderwanemi od głównego działu zjawisk elektromagnetycznych.

Zarodek teoryi o atomistycznym składzie elektryczności tkwi już w Faradaya prawach o elektrolizie, ale dopiero Helmholtz (1880) tę konsekwencyę zauważył i wyraźnie wypowiedział. Sam ten fakt, że każdy atom jakiegobądź pierwiastka jednowartościowego, czy to wodoru, czy chloru, sodu, potasu i t. d., taką samą ilość elektryczności transportuje, a każdy atom pierwiastka wielowartościowego pewną jej wielokrotność, nasuwa jako wytłumaczenie najprostsze tę myśl, że elektryczność nie jest fluidem

---

Fortschritte auf d. Gebiete d. Elektricität, 2 Aufl. Teubner (1902), 128 str. Gruntowniejszem i obfitszem w szczegóły techniczne jest dziełko: Fleming, Elektrische Wellentelegraphie, Teubner (1906), 185 str. Rozmaite nowsze wynalazki elektrotechniczne omawia Ruhmer w: Neuere elektrophysikalische Erscheinungen, Berlin (1902), 171 str.

ciągłe, lecz składa się z cząstek elementarnych o takim właśnie ładunku.

Wielkość tego ładunku elementarnego (Elementarquantum d. Elektricität) łatwo nawet obliczyć z ilości elektryczności potrzebnej do wydzielenia 1 cm³ wodoru (2·60 . 10^{10} jednostek elektrostatycznych) i z liczby drobin wodoru zawartych w 1 cm³. Według teoryi kinetycznej gazów liczba ta wynosi 4.10^{19} (Jeans), z czego wynika ów nabój elementarny: 3·3 . 10^{-10} jedn. elektrost. Jak małą jest ta ilość, ocenimy, zważając, że iskra, którą wyciągamy z okładki elektroforu skromnych rozmiarów, reprezentować może nabój rzędu kilkuset jednostek elektrostatycznych.

Wówczas jednak na te spekulacye mało zwracano uwagi, uważano je za fantastyczne, zwłaszcza, że Ostwald na czele t. zw. szkoły energetyków, rozpoczął walkę przeciwko atomistycznym poglądom na istotę materyi, i nie zauważono nawet pojawienia się fundamentalnych prac Lorentza (1892, 1895) w których teorya elektronów, a zwłaszcza zastosowanie jej do optyki systematycznie zostały rozwinięte. Dopiero trzy wstrząsające odkrycia: promieni Röntgena (1895), promieni Becquerela (1896) i zjawiska Zeemanna (1896) (patrz rozdz. II.) przebudziły uczonych z ich konserwatywnego kwietyzmu. Zapoznano się z teoryą Lorentza, dla której Zeemanna odkrycie stanowiło świetne sprawdzenie, a równocześnie zajęto się badaniami J. J. Thomsona nad promieniami katodowymi, będącemi pogłębieniem poglądów, które już 1879 Crookes w swych poszukiwaniach nad „czwartym stanem skupienia" wypowiedział i które długo, zwłaszcza przez niemieckich uczonych, były zwalczane, a nawet wydrwiwane.

Dowody, prawie możnaby powiedzieć namacalne, których dostarczono, przekonały sceptyków. W ciągu kilku lat powszechnie przyjęto teoryę elektronów jako ostatni wykwit nauki; ogół uczonych, eksperymentatorów i teoretyków, skierował swą pracę w kierunku przez nią wskazanym, a przyznać trzeba, że okazała się dotychczas nieomylnym przewodnikiem w labiryncie najróżnorodniejszych i najdziwniejszych zjawisk, jakie na tem polu w ostatnim dziesięcioleciu wykryto¹).

¹) Ogólny pogląd na teoryę elektronów daje przystępnie pisana, zajmująca broszurka Lorentza: Ergebnisse und Probleme d. Elektronentheorie, Berlin Springer (1905), 59 str. [illegible]; krótki zarys teoryi daje Bucherer: Mathem. Einführung i. d. Elektronentheorie, Teubner (1904) 148 str. [illegible] obszer-

Teorja elektronów zapatruje się zatem na ciała materjalne, jakby je widziała pod olbrzymio powiększającym mikroskopem. Supponuje, że przestrzeń jest wypełniona eterem wszystko przenikającym a zupełnie nieruchomym i dla tego eteru przyjmuje te same równania elektromagnetyczne co i Maxwell (to znaczy równania str. 2), podstawiając tam K i μ równe jedności, λ równe zeru). W tym eterze znajdują się ruchome ciała elementarne, owe elektrony (Thomson nazywa je corpuscules) posiadające pewną masę mechaniczną i pewien ładunek elektryczny ujemny, wielkości powyżej obliczonej. Atomy materjalne są to kombinacje utworzone z wielkiej liczby takich elektronów, zachowujące się na zewnątrz neutralnie pod względem elektrycznym. Wychodząc z punktu widzenia hipotezy dualistycznej trzeba oczywiście także przyjąć istnienie elektronów dodatniej elektryczności w równoważnych ilościach, ale o właściwościach ich dotychczas wiemy, gdyż oddzielania się pojedyńczych takich cząstek elementarnych od atomów dotychczas tylko u ujemnej elektryczności dowieść można było, co jest w związku z charakterystycznemi różnicami w zachowaniu się dodatniej a ujemnej elektryczności. Anion elektrolityczny (Cl, NO_3, SO_4 i t. d.) jest to właśnie taki atom, czy grupa atomów, która się połączyła z jednym, czy też dwoma, trzema... elektronami nadliczbowymi ujemnymi (zależnie od wartościowości), a kation (H, Na, Cu....) jest atomem, czy też układem atomowym posiadającym takiż brak w ich liczbie.

Jako przykład, jak zgodnie z temi przyjęciami, strukturę atomu sobie wyobrazić możemy, wskażę na genialną hipotezę J. J. Thomsona[1]), do której później jeszcze powrócimy.

Do zasadniczych założeń teorji należy jeszcze twierdzenie, które także już Maxwell otrzymał, przez zastosowanie swych zapatrywań do ciał w ruchu będących: że transport elektryczności, polegający na ruchu ciał naładowanych, jest równoważny co

niejsze przedstawienie teorji: Abraham, Theorie d. Elektricität, Bd. II. Teubner (1905) 404 str.; Lorentz w Encyclopädie d. mathem. Wissenschaften (Teubner) Bd. V. 2. Heft 1. (1904). Od roku 1904 wychodzi: Jahrbuch d. Radioaktivität u. Elektronik, Leipzig, rocznie, zawierające bibliografię i bardzo dobre referaty.

[1]) Przedstawioną w sposób łatwo zrozumiały, bez wywodów matematycznych w broszurce: J. J. Thomson, Elektrizität und Materie, 100 str. Vieweg 1904).

do sił magnetycznych wywieranych i co do sił ponderomotorycznych w danem polu doznanych z prądem galwanicznym odpowiedniej wielkości. Dla teoryi elektronowej twierdzenie to nabiera znaczenia zasadniczego, ponieważ ona nie może uznawac dawnego pojęcia prądu; według niej to, co nazywamy prądem galwanicznym, krążącym po przewodniku, niczem nie jest innem jak ruchem postępowym takich elektronów we wnętrzu metalu. Przewodnictwo metali jest zatem zupełnie analogiczne do przewodnictwa elektrolitów, z tą tylko różnicą, że w metalach istnieją także pojedyńcze, od atomów oderwane elektrony, swobodnie się poruszające (zdissocyowane), podczas gdy one w elektrolitach przyczepione są do atomów lub grup atomowych i tylko wspólnie z niemi się poruszać mogą.

Już w roku 1878, a dokładniej w 1889 słynny fizyk amerykański Rowland sprawdził ową hipotezę Maxwella, wykazując, że krążek naelektryzowany, wirujący koło swej osi, taki sam wywiera wpływ na igłę magnetyczną, jak prąd przepływający po obwodzie krążka, ale doświadczenia te nie zostały zupełnie powszechnie uznane, gdyż ilości elektryczności tym sposobem poruszane są bardzo małe w porównaniu z temi, które prąd galwaniczny średniego natężenia transportuje, a zatem też siła wywierana na igłę magnetyczną jest bardzo nieznaczna i trudno się wykazać daje. Kwestya zaostrzyła się, gdy Francuz Crémieu w r. 1902, wykonując podobne doświadczenia z wielką przezornością, żadnego nie zdołał odkryć wpływu tego rodzaju, a zwłaszcza gdy amerykanin Pender (1903) znów otrzymał rezultat dodatni, a potem Crémieu znowu wynik przeczący. Dla rozstrzygnięcia sporu, ogarniającego coraz szersze koła uczonych a decydującego o losach nietylko teoryi elektronów ale i Maxwella, chwycono się sposobu oryginalnego, któryby za wzór służyć powinien w podobnych razach: za staraniem najpierwszych powag naukowych, Poincarégo ze strony Francyi, a Lorda Kelvina ze strony Anglii, zaproszono Crémieugo i Pendera do wspólnej pracy nad tym przedmiotem, stawiając im do dyspozycyi wszelkie potrzebne środki naukowe. W przeciągu kilku miesięcy praca, stanowczo rozstrzygająca tę kwestyę została wykonana, a wynik jej był, że obaj badacze uznali zupełną słuszność przewidywań Maxwella. Ujemne rezultaty dawniej otrzymane przez Crémieugo pochodziły z pewnego szczegółu doświadczeń (pokrycie krążka wirującego lakie-

rem), którego doniosłości jako źródła błędów nie można było a priori przypuszczać.

Tak zatem wszelkie wątpliwości co do owego podstawowego prawa elektroniki zostały usunięte. Pewna niejasność jeszcze istnieje [illegible] co do wewnętrznej budowy elektronów, ale te kwestye dla większości zjawisk są zupełnie obojętne, co naturalnie też odwrotnie jest powodem, że nie możemy tak łatwo odczytać odpowiedzi na nie w zjawiskach natury. Powrócimy do tego jeszcze później.

Poznawszy wytyczne zasady tej teoryi, zastanówmy się nad jej doniosłością. Zauważymy przedewszystkiem, że równania pola elektromagnetycznego, wynikające z niej dla stanu stałecznego albo nie zbyt szybko zmiennego, są identyczne z równaniami Maxwella (z pewnemi zmianami dla ciał poruszających się), że zatem ta teorya tak samo jak owa obejmuje całość „klasycznego“ systemu elektromagnetyki i także fale Hertzowskie. Właściwem polem jednak, gdzie jej wyższość się okazała, są dziedziny rozmaitych zjawisk nowo zbadanych.

Jedna z nich jest to dziedzina zjawisk występujących przy rozbrojeniu elektryczności. Pioruny, iskry elektryczne, rozbrojenia w t. zw. rurkach Geisslerowskich należą z pewnością do zjawisk elektrycznych najczęściej obserwowanych i od samego początku najpilniej badanych, a mimo to były one dla nas do niedawna zupełnie niezrozumiałe i wszelkie próby wykrycia jakichś ścisłych prawidłowości rozbijały się o nadzwyczajną ich zawiłość i pozorną nieregularność. Dopiero pod wpływem nowej teoryi wszystko zaczęło się porządkować i wyjaśniać. Obecnie, zwłaszcza dzięki poszukiwaniom J. J. Thomsona i jego uczni[1]) chaos wyników niepowiązanych zamieniły się w systematyczną całość, ściśle związaną z kinetyczną teoryą gazów.

Wiemy teraz, że przewodzenie elektryczności w gazach odbywa się do pewnego stopnia podobnie jak w elektrolitach wskutek ruchu jonów, popychanych przez siły pola elektrycznego, a wstrzymywanych przez zderzenia z drobinami otaczającemi.

---

[1]) Najgruntowniejsze dzieło: J. J. Thomson, Electricitäts-Durchgang in Gasen, 587 str. Teubner (1906) Mk. 18. Krótki pogląd n. p. w książce Starka, loc. cit. str. 352—409, [illegible] Bardzo dobre było dziełko: J. J. Thomson, Entladung d. Elektr. durch Gase, 144 str. (1900) Barth, Mk. 5.50, obecnie już trochę przestarzałe.

Różnica polega na tem że: 1) jonami mogą być w gazach rozrzedzonych pojedyńcze elektrony, przy wyższych ciśnieniach zaś atomy lub drobiny połączone z elektronem, a nawet grupy drobin gromadzące się koło elektronu; 2) średnia droga odbyta przez jony między kolejnemi zderzeniami z otaczającemi drobinami jest wielkością zmienną, zależną od gęstości gazu, i może w gazach rozrzedzonych osiągnąć wartości dość znaczne; 3) jonizacya gazów w stanie naturalnym jest niedostrzegalnie małą, ale istnieje mnóstwo rozmaitych czynników wywołujących sztuczną jonizacyę i wskutek tego przewodzenie elektryczności, jak promienie Röntgena, promienie katodowe i anodowe, procesy chemiczne i t. p. Przewodzenie elektryczności spowodowane przez takie zewnętrzne źródło jonizacji można nazwać „niesamodzielnem". Dzięki dokładnemu teoretycznemu opracowaniu zyskaliśmy w nim znakomity środek do badania owych czynników jonizujących, który n. p. wobec ciał promieniotwórczych niesłychane oddał usługi.

Pod pewnymi warunkami może wystąpić także „samodzielne" przewodzenie elektryczności; mianowicie jeżeli siła elektryczna jest dostatecznie wielką, wtedy jony podczas swej „drogi swobodnej" tak znaczną, prędkość nabywają, że roztrzaskują drobiny z któremi się zderzają, i tym sposobem coraz nowe jony wytwarzają. Łatwo zrozumieć, że liczba jonów musi wtedy nadzwyczajnie szybko wzrastać i że elektryczność przepłynie z coraz większą łatwością i gwałtownością, dopóki napięcie elektryczne trwać będzie, to znaczy, że powstanie to co nazywamy iskrą elektryczną. Z tej teorji można też wyprowadzić prawo empirycznie znalezione przez Paschen'a, według którego potencjał potrzebny do wytworzenia iskry jest tylko funkcją iloczynu długości iskry i ciśnienia gazu. Zbadawszy zatem zależność długości iskry od potencjału przy zwykłem ciśnieniu atmosferycznem można obliczyć w prosty sposób odpowiednie wartości dla jakiegobądź innego ciśnienia.

Wielką doniosłość dla rozwoju tej dziedziny nauki nabył fakt, obserwowany już niegdyś przez Helmholtza, że para wodna przy osiągnięciu pewnego stopnia przesycenia kondensuje się na jonach w gazie zawartych i w ten sposób wytwarza kropelki naładowane odpowiednim ładunkiem. Najdziwniejszem jest jednak to, że para wodna okazuje skłonność do gromadzenia się na ujemnych jonach

i tylko w ostateczności, gdy przesycenie jest znaczne, także jonami dodatniemi się zadawala (Wilson).

Dla zjawisk elektryczności atmosferycznej i meteorologii są to fakty pierwszorzędnej wagi; to też zajęto się z zapałem badaniami nad nowym elementem meteorologicznym: jonizacyą atmosferyczną, nad związkiem jego z promieniowaniem słonecznem i z owymi drobnymi śladami substancyi promieniotwórczych, których obecność w atmosferze Elster i Geitel odkryli, i śmiało można twierdzić, że oznacza to początek nowej ery dla meteorologii.

Dla fizyki zaś zbadanie owego faktu już obecnie obfite wydało owoce. Samo zjawisko, zdaje się, jest już dostatecznie wytłumaczone przez Thomsona, ale jeszcze ciekawszy jest użytek, który z niego zrobiono. Mianowicie jony same są oczywiście niewidzialne, ale jeżeli koło każdego z nich wytworzymy kropelkę przez kondensacyę pary, wtedy ruch tych kropelek możemy dokładnie śledzić i możemy zmierzyć, jakie one prędkości nabywają pod wpływem ciężkości lub znanych sił elektrycznych, a z tych danych obliczyć możemy wielkość owego ładunku elektrycznego, który kropelka zawiera i który stanowi pierwotny nabój jonu. Tym sposobem J. J. Thomson, Townsend i Wilson otrzymali liczby zupełnie zgodne między sobą i z ową liczbą, którą poprzednio z całkiem odmiennych zjawisk wyprowadziliśmy, co oczywiście stanowi świetne potwierdzenie zasad tej teoryi.

Bezsprzecznie najciekawsze są jednak zjawiska występujące w gazach bardzo rozrzedzonych[1]). Wtedy jony dużo mają przestrzeni wolnej dla swego ruchu, więc pod wpływem siły elektrycznej zakreślają długie proste drogi swobodne i nabywają przy tem wielkiej prędkości: powstaje zjawisko, które określamy nazwą promieni. Są to zatem promienie w sensie teoryi emisyjnej Newtona, tylko z tą różnicą, że cząstki wyrzucane są naładowane elektrycznością. Skutek tego naboju ujawnia się w tem, że zewnętrzne poprzeczne siły elektryczne uginają je z drogi prostej w swym kierunku, a poprzeczne siły magnetyczne w kierunku prostopadłym (ponieważ magnes według omawianej przedtem zasady działa na taki promień jak na przewodnik prądu elektrycznego).

[1]) Polecenia godne dziełko (bez wywodów matematycznych): Schmidt, Kathodenstrahlen, 120 str. Vieweg (1904).

Dodatnie cząstki[1]) tworzą t. zw. „Kanalstrahlen" lub promienie anodowe, a ujemne elektrony tworzą owe promienie katodowe, których dziwne właściwości już od czasów Crookesa [illegible] nabyły rozgłosu. Obecnie wiemy, że promienie katodowe (wychodzące z bieguna ujemnego, katody, skąd nazwa) powstają nietylko w owych rurkach Crookesa, każdemu dobrze znanych, lecz że są one zjawiskiem bardzo powszechnem. Powstają one na powierzchni metali i rozmaitych innych ciał oświetlanych (zwłaszcza światłem pozafiołkowem) dając powód do t. zw. zjawisk fotoelektrycznych, powstają też (jako „promienie wtórne" Sekundärstrahlen) przy pochłonięciu promieni Röntgena przez ośrodki absorbujące, jak metale lub gazy, a powstają także prawdopodobnie przy zjawiskach chemicznych jak n. p. w płomieniach; wydawane są również przez rozżarzone metale i inne ciała silnie ogrzane (zwłaszcza tlenek wapna), oraz przez substancye radyoaktywne, których według nowszych badań jest wiele więcej niż pierwotnie przypuszczano. Rzadko jednak promienie te są tak silne, aby można wykazać ich istnienie bez przyrządów o wielkiej czułości.

Właściwości ich zależą w bardzo wysokim stopniu od prędkości, którą posiadają, a ta znów związaną jest ze sposobem ich powstania i ze stanem zewnętrznego pola elektrycznego. Promienie powolne, jak te, które według Lenarda są wydawane przez metale oświetlone, [illegible] posiadające prędkości rzędu $10^8 \frac{cm}{sec}$, podlegają już zboczeniu pod wpływem bardzo słabych sił magnetycznych lub elektrycznych, i nie są w stanie przejść przez warstwę powietrza grubości $\frac{1}{1000}$ mm; natomiast najszybsze dotychczas znane, promienie β wydawane przez rad, o prędkości $2{\cdot}3-2{\cdot}9 . 10^{10} \frac{cm}{sec}$, więc bliskiej prędkości światła, znacznie mniej podlegają zboczeniu w polu magnetycznem, a zwłaszcza elektrycznem, możnaby powiedzieć, są wiele sztywniejsze i przy tem przenikliwsze, gdyż przenikają warstwy kilkunastu centymetrów powietrza bez znacznego osłabienia. Analogia z kamieniem rzuconym z małą prędkością, zakreślającym drogę silnie skrzywioną

[1]) Masa ich, obliczona w podobny sposób jak dla promieni katodowych (zob. później) okazała się mniej więcej równą masie atomowej. Zdaje się zatem, że są to atomy, od których jeden czy kilka ujemnych elektronów [illegible] oddzielił[illegible]

i z kulą, wystrzeloną z karabina, lecącą prawie drogą prostą, objaśnia te zjawiska bez długiego tłumaczenia.

Zrozumiemy też, dzięki tej analogji, do pewnego stopnia, jak na podstawie takich obserwacji zboczenia promieni można odwrotnie obliczyć ich prędkość. Prosty rachunek dowodzi, że kombinując dane co do skrzywienia promienia w polu magnetycznem i w polu elektrycznem, można obliczyć z jednej strony prędkość elektronów poruszających się, a z drugiej strony stosunek masy mechanicznej takiego elektronu do jego naboju elektrycznego. Tym sposobem otrzymano liczby na prędkości wyżej przytoczone. Wielkość ich, przekraczająca tak nadzwyczajnie wszelkie inne prędkości ciał materyalnych poruszających się początkowo spotykała się z pewnem niedowierzaniem, pomimo że także inne sposoby obliczenia (na podstawie energji zużytej do wytworzenia promieni, lub ciepła wytworzonego przez promienie i ilości elektryczności transportowanej) te same dawały rezultaty.

Wszelkie wątpliwości zostały jednak usunięte, gdy się udało uczonym niemieckim Des Coudres i Wiechert wykonać bezpośredni pomiar prędkości promieni katodowych. Metoda ich, nadzwyczaj pomysłowa, przypomina w zasadzie metodę zastosowaną przez Fizeau do mierzenia prędkości światła, ale różni się tem, że używa się tu szybko przemiennych prądów, odchylających magnetycznie owe promienie, zamiast koła zębatego, którem Fizeau się posługiwał celem periodycznego przerywania promieni świetlnych. Potwierdzenie liczb przedtem obliczonych, które te bezpośrednie pomiary umożliwiły, jest nowym dowodem dla słuszności naszych zapatrywań co do natury elektronów.

Ale jeszcze donioślejsze okazało się obliczenie owego stosunku $\frac{m}{e}$, masy elektronów do ich naboju elektrycznego, ponieważ znając wielkość tego naboju (patrz str. 6) można z niego także obliczyć masę elektronów. Pierwszy J. J. Thomson tym sposobem zdołał oznaczyć tę wielkość; pokazuje się, że masa ta wynosi $0{\cdot}6 . 10^{-27}$ grama, t. j. mniej więcej $\frac{1}{2000}$ część atomu wodoru, a co najciekawsze: że liczba ta jest niezależna od natury gazu i od natury elektrody, z której wychodzą promienie katodowe. To uważał za dowód, że atomy wszystkich ciał są zbudowane z takich samych elektronów i że różnice we właściwościach

pierwiastków chemicznych tylko polegają na różnicach w liczbie i w rodzaju ułożenia tych cegiełek. To są więc owe praatomy, o których niegdyś marzyli niektórzy chemicy (Prout i inni).

A jeżeli te cegiełki są wszystkie jednakowe, czemużby atomy jednego rodzaju nie miały się dać przemienić w atomy innego rodzaju? Kilkanaście lat temu byłoby się takie przypuszczenie uważało za dziecinną utopię, a obecnie wiemy, że istotnie w naturze takie przemiany się odbywają! A na przyszłość będziemy o tyle ostrożni, ażeby słowa „niemożliwość" nigdy we fizyce nie używać.

Do tych wyników później jeszcze powrócimy, obecnie zaś rozpatrzmy konkluzye innego rodzaju, z tych badań wynikające. W klasycznych teoryach fizyki zwykle ujawniała się tendencya do wytłómaczenia sobie zjawisk elektrycznych sposobem mechanicznym, jako objawów wewnętrznej mechanicznej struktury eteru (Maxwell nawet wymyślił odpowiedni model eteru) ale zaniechano później tych usiłowań, gdyż mechanizm, który trzeba było przypuścić, był zbyt skomplikowany, tak że nie ułatwiał poglądu[1]. Później niekiedy podnoszono nieśmiało myśl, czyby się nie dało odwrotnie mechanikę sprowadzić na elektryczność.

Tu się nadarzyła ku temu sposobność: gdyby się nam udało wytłumaczyć bezwładność elektronów jako objaw sił elektrycznych, znaczyłoby to, że pojęcie masy elektronu, a zatem masy materyalnej wogóle, zredukowaliśmy na pojęcia z dziedziny elektryczności. Takie tłumaczenie zaś istotnie jest możliwem. Już w roku 1879 bowiem J. J. Thomson dowiódł z równań Maxwella, że kula naelektryzowana musi przy swym ruchu okazywać takie właściwości, jak gdyby posiadała pewną bezwładność. Jest to objaw energii potencyalnej, która z wytworzeniem pola magnetycznego dokoła naboju poruszanego (jakoby prądu galwanicznego) jest połączona. Wszak powszechnie znanem jest to zjawisko bezwładności prądu w przewodnikach metalowych pod nazwą Extrastrom, czyli prądu powstającego wskutek samo-indukcyi, gdy siłę elektromotoryczną załączamy lub wyłączamy; ale tam trwa ono tylko bardzo krótki czas, ponieważ elektrony w metalu doznają tarcia pochłaniającego ich energię kinetyczną i zamieniającego ją

[1]) Zestawienie badań w tym kierunku: Witte, Über d. gegenw. Stand d. Frage nach e. mechan. Erklärung d. elektr. Erscheinungen, Berlin, Ebering (1906) 232 str.

w. ciepło Joule'a. Masa elektronu byłaby zatem nie materjalną, pozorną, byłaby tylko objawem sił elektromagnetycznych, powstających dzięki naładowaniu elektrycznością.

Trzebaby tę hipotezę uznać za możliwą, ale nie sprawdzalną, gdyby ściste obliczenia z niej nie wyprowadziły dalszej konsekwencji, że elektron tylko dla stosunkowo powolnych ruchów posiadałby określoną, niezmienną masę, zgodnie z pojęciem masy mechanicznej Newtonowskiej; w ruchach zbliżających się do prędkości światła musiałaby jego bezwładność się powiększyć, wskutek deformacji linij sił elektrycznych, wywołanej tak szybkim ruchem. Tu jest sposobność do experimentum crucis, rozstrzygającego za lub przeciw tej teoryi.

Kauffman wykonał je, powtarzając (1901) z największą dokładnością pomiary prędkości i masy elektronów dla promieni β wydawanych przez rad, które są znacznie szybsze niż te, których używał Thomson, i znalazł istotnie znaczne powiększenie masy przy wielkich prędkościach, jak wskazują następujące liczby:

prędkość / 10^{10}	mała	2·2	2·4	2·7	2·9	cm/sek
masa	1	1·34	1·47	2·05	2·42	

Wyrok wypadł zatem przeciwko tradycyjnej mechanice, a za tłumaczeniem elektrycznem bezwładności. Prawa mechaniki Newtonowskiej są zatem tylko przybliżenie ważne, z ograniczeniem do niezbyt wielkich prędkości. Dla ciał poruszających się szybciej niż 100.000 kilometrów na sekundę masa jest zmienną, nawet różną dla sił działajacych w kierunku ruchu a w kierunku poprzecznym; a równocześnie prawo równoległoboku sił przestaje być ważnem.

Czy porzucimy zatem dotychczasową mechanikę, która przez 250 lat dyktowała prawa całej fizyce i którą uważaliśmy za jej najpewniejszą podstawę? Bynajmniej nie! Będziemy się trzymali mechaniki Newtona jak dotychczas, dla wszystkich ruchów „powolnych", o prędkościach mniejszych od kilkudziesięciu tysięcy kilometrów na sekundę, ale będziemy uważali pojęcia mechaniczne za symbole skracające, których używamy, ażeby nie potrzeba się zapuszczać w zawiłe obliczenia elektromagnetyczne, i będziemy pamiętali, że nie wolno używać tych pojęć upraszczających w ten sam sposób, gdy chodzi o ruchy „szybkie".

Owa zmienność masy elektronów przy bardzo szybkim ruchu jest też pod innym względem nadzwyczajnie ważna, gdyż ona według teorji od tego zależeć musi, czy elektrony mają kształ niezmienny, kulisty, jak suponuje Abraham, czy też przybierają kształt elipsoidy przy tak szybkim ruchu, co przyjmują Lorentz, Bucherer i inni. Jest to jedno z owych zjawisk wspomnianych na str. 51, gdzie także kształt elektronu pewną odgrywa rolę, i z których zatem też odwrotnie o zmianach tego kształtu możnaby się dowiedzieć. Innym przypadkiem tego rodzają są pewne doświadczenia optyczne, zapomocą których Michelson daremnie usiłował dowieść ruchu ziemi względem nieruchomego eteru wszechświata. Mimo starannych pomiarów Kauffmana nad pierwszym punktem i mimo głębokich badań różnych uczonych nad drugim przedmiotem nie można jeszcze kwestji tej uważać za rozstrzygniętą, gdyż dokładność dotychczasowych danych doświadczalnych do tego nie wystarczy, więc też nie będziemy się zagłębiać w odnośne spekulacje Lorentza. Przypuszczenie jego, że na mocy dokładnych pomiarów optycznych ruch ziemi względem eteru mógłby być wykrytym, dziwnem się wydaje, ale nie możemy tej możliwości a priori odrzucić, tak samo jak nie możemy a priori rozstrzygnąć, czy dla sił działających między eterem a elektronami istnieje prawo działania i oddziałania czy nie.

Zaznaczyć należy jednak jeszcze pewien ciekawy wynik tego „elektrycznego wytłumaczenia“ masy mechanicznej. Pozorna masa elektronu musi bowiem zależeć od gęstości elektryczności wypełniającej elektron, a zatem także od jego rozmiarów; a z tego obliczono zapomocą ścisłego rachunku, że średnica elektronu jest wielkością rzędu 10^{-13} *cm* t. j. kilkaset tysięcy razy mniejszą od średnic drobinowych.

Ponieważ zatem elektrony tylko nadzwyczajnie drobną część przestrzeni w ciałach stałych rzeczywiście zajmują, można też zrozumieć „przeźroczystość“ ciał dla takich nadzwyczajnie drobnych a szybkich pocisków, jakiemi są promienie β.

Wyniki w ostatniej części omawiane są pouczającym przykładem, do jak doniosłych konsekwencji może doprowadzić wyczerpujące zbadanie jakiegoś zjawiska, nawet na pozór izolowanego i nie obiecującego ogólniejszych rezultatów.

O nadzwyczajnie ciekawych i ważnych badaniach mających na celu wytłumaczenie magnetyzmu, termoelektryczności, a na-

wet także grawitacyi powszechnej, na podstawie pojęć elektronowych, tylko nawiasem wspomniemy, gdyż tutaj budowa teoryi jeszcze nie jest wykończona, ale nieco obszerniej poruszyć trzeba zjawisko występujące zawsze w połączeniu z promieniami katodowymi, które wśród szerokiej publiczności znacznie większego od nich nabyło rozgłosu, choć dotychczas dla nauki mniej owocnem się okazało: promienie Röntgena[1]).

Obecnie przynajmniej kwestya sporna co do istoty tych promieni jest stanowszo rozstrzygnięta. Są to nagłe i nader krótko trwające zaburzenia elektromagnetyczne eteru, które powstają, kiedykolwiek elektrony doznają nagłej zmiany w swym ruchu, a zwłaszcza wyraźnie występują, gdy promień katodowy wpada na powierzchnię płyty z metalu ciężkiego (jak platyna, ołów). Używając porównania z dziedziny akustyki, można je zestawić z szelestem występującym gdy grad uderza o twardą ziemię; różnią się one od fal świetlnych podobnie jak ten szelest się różni od dźwięków muzykalnych: tem, że tworzą tylko chwilowe wzburzenia elektromagnetyczne, a nie szereg regularnych peryodycznych falowań.

Zapatrywania te zostały wypowiedziane przez Stokesa zaraz po odkryciu tych promieni, podczas gdy inni początkowo w nich upatrywali fale podłużne eteru i t. p., ale obecnie mamy na nie ścisłe dowody. Marx zdołał zmierzyć prędkość promieni Röntgena (1906); doświadczenia jego, które tak jak pomiary analogiczne promieni katodowych (patrz str. 13) są arcydziełem nowoczesnej fizyki eksperymentalnej, dały liczbę 300.000 km., identyczną z prędkością światła. Barkla odkrył u tych promieni pewne zjawiska polaryzacyi, co wspólnie z owym rezultatem dowodzi, że mamy tu rzeczywiście do czynienia z (poprzecznemi) zaburzeniami elektromagnetycznemi eteru, pokrewnemi ze światłem. Holendrzy Haga i Wind zaś dowiedli u nich śladów uginania, przy przejściu przez wązką szparę, wyciętą w ekranie platynowym, z których wnioskowali, że t. zw. szerokość impulsu (t. j. grubość warstwy zaburzonej (eteru) wynosi mniej więcej $\frac{1}{1000}$ długości fal świetlnych!

To też tłumaczy zupełnie, czemu one nie doznają ani odbicia ani załamania regularnego, gdyż odstępy między drobinami ciał

[1]) Oprócz obszernego dzieła Thomsona, loc. cit. str. 9: Donath, D. Einrichtungen z. Erzeugung v. Rönt. Strahlen, Berlin (1903) 2 Aufl., 244 str. Mk. 7·—.

napotykanych po drodze większe są od owej szerokości impulsu, więc ciała materyalne dla tak drobnych zaburzeń nie przedstawiają cech ośrodka jednolitego, lecz zachowują się jak zbiorowiska z drobnych ziarn. Obszernego pola dla badań dostarczają jeszcze różnice między rozmaitymi promieniami Röntgena, „miękkimi" t. j. stosunkowo mało przenikliwymi, jakie wytwarzane są przez powolne promienie katodowe i „twardymi", pochodzącymi od szybkich promieni katodowych i obdarzonymi wielką zdolnością przenikania.

II.

Ściśle biorąc, przedmiot tu właśnie omawiany należy już zaliczyć nie do elektryczności lecz do optyki w szerszem znaczeniu słowa, czyli nauki o promieniowaniu. Ale w ostatnich czasach dziedziny te tak się zrosły i zlały ze sobą, że ścisłe ich odgraniczenie jest zupełnie niemożliwe.

Dawniejsza, historyczna optyka zapatrywała się na promień światła jako coś danego i tylko badała zmiany zachodzące podczas jego przebiegu. Znacznie później dopiero zajęto się związkiem między istotą źródła światła a rodzajem promieni przezeń wysyłanych: doczepiono do optyki nową dziedzinę: analizy widmowej, z którą się z czasem także połączyła nauka o promieniowaniu cieplnem, ponieważ poznano, że promienie świetlne stanowią tylko rodzaj promieni cieplnych. W tych nowszych działach nagromadzono z czasem nadzwyczaj rozległy, choć bardzo chaotyczny materyał doświadczalny, ale oprócz fundamentalnego prawa Kirchhoffa o stosunku emisyi do absorpcyi, otrzymanego zapomocą rozważań termodynamicznych, i oprócz pewnych bardzo niedostatecznych wskazówek co do związku dyspersyi anormalnej z absorpcyą, nie zdołano zdobyć ogólniejszych wyników, dopóki panowała mechaniczna undulacyjna teorya światła.

Dopiero gdy pod naciskiem doświadczeń Hertza porzucono tamtę, a przyjęto elektromagnetyczną teoryę światła, otworzyła się droga do postępu. W obecnej chwili trudno będzie znaleźć między uczonymi choć jednego zwolennika starej teoryi. Odłożono ją ad acta jako nieużyteczny przeżytek — któremu tylko jeszcze kwitnąć pozwalają w niektórych naszych podręcznikach szkolnych.

Różnica pod pewnym względem jest niewielka, zamiast pojęcia poprzecznych drgań eteru, analogicznych do drgań ciał sprężystych, podstawiono wszędzie pojęcie poprzecznych, peryodycznie

217

zmiennych sił elektrycznych, i z tą małą zmianą słów przyjęto prawie wszystkie teorye klasycznej optyki. Ale doniosłość tej zmiany dla rozwoju optyki polega na tem, że zamiast uciekać się do przypuszczenia jakichś dziwacznych właściwości sprężystych eteru, możemy wszystko wytłumaczyć za pomocą jego dokładnie znanych właściwości elektrycznych i że zamiast robić hipotezy co do zagadkowego sposobu jak ciała materyalne wpływają na sprężyste właściwości eteru, możemy przewidzieć na podstawie naszych wiadomości o strukturze atomów, jak one na fale elektryczne będą oddziaływały, i jak swoimi ruchami wewnętrznymi takie fale będą wzbudzały.

Optyka dzieli się z tego punktu widzenia na dwa działy. Aż do pewnego punktu można się równie dobrze posługiwać dawną, mechaniczną jak też nową, elektromagnetyczną teoryą, albo najlepiej hipotezą najogólniejszą, że światło polega na zjawisku peryodycznem pewnego rodzaju, bez bliższego roztrząsania istoty tego zjawiska[1]). Jest to ów dział optyki, w którym głównie się obracała optyka klasyczna, który po niej w niezmienionej formie odziedziczyliśmy i zapewne też niezmieniony przekażemy naszym potomkom.

Nie można jednak twierdzić, żeby na tem polu nie było postępu. Przeciwnie, t. zw. optyka geometryczna, czyli teorya instrumentów optycznych, zwłaszcza dzięki badaniom Abbe'go nadzwyczajnie się wykształciła, a w ślad za nią poszło wydoskonalenie instrumentów optycznych, mikroskopów, objektywów fotograficznych i t. p., jakie związane jest zwłaszcza z imieniem firmy Zeiss. Na polu mikroskopiki nawet nastąpiło niespodziewane odkrycie, że przy nadzwyczajnie silnem oświetleniu można widzieć (choć niewyraźnie) cząstki jeszcze wiele mniejsze niż 0·0002 mm., co Helmholtz uważał za granicę nieprzekraczalną, podyktowaną przez prawa uginania światła, i Siedentopf i Zsigmondy zdołali nawet tym sposobem w swym „ultramikroskopie“ wysunąć granice widzialności do rozmiarów 0·000005 mm.

---

[1]) Przeważnie z tego punktu widzenia optyka traktowana jest w świetnie napisanem elementarnem dziełku Witkowskiego, które wyszło jako drugi zeszyt tomu drugiego „Zasad Fizyki“. Warszawa (1904) 1 rb. 35 kop. Jako podręcznik wyższej optyki teoretycznej, odpowiadający obecnemu stanowi nauki, polecić musimy gorąco: Drude, Lehrbuch d. Optik 2. Aufl. (1906) Leipzig Mk. 13·—.

Ale wszystkie te wydoskonalenia, jakkolwiek dla praktyki ważne, mają raczej charakter uzupełniający pewne luki systemu z przeszłości przekazanego, i nie mogą być porównane co do swej doniosłości naukowej z powstaniem zupełnie nowych części optyki, które zawdzięczamy teoryi elektromagnetycznej — i to jest ten drugi dział, który dla teoryi mechanicznej był niedostępny i którym obecnie się zajmiemy: właściwa teorya promieniowania. W nim znów możnaby dwie części rozróżnić: ogólne prawa promieniowania, w których wystarczy przyjęcie ogólnych zasad teoryi Maxwella, i takie zjawiska, które wymagają wprowadzenia pojęć elektronowych, w celu wytłumaczenia specyalnych właściwości rozmaitych substancyi.

Przytoczę najprzód najważniejsze fakty pierwszego rodzaju. Z teoryi elektromagnetycznej wynika, że światło padające na powierzchnię ciała wywierać musi nań pewne ciśnienie; istotnie Moskal Lebediew i Amerykanie Nichols i Hull zdołali wykazać jego istnienie zapomocą nadzwyczajnie delikatnych doświadczeń i sprawdzić jego wielkość teoretycznie obliczoną[1].

Na podstawie praw tego ciśnienia i ogólnych zasad termodynamiki, Boltzmann podał dowód ścisłości t. zw. prawa Stefana, twierdzącego że: całkowite promieniowanie ciała czarnego rośnie proporcyonalnie do czwartej potęgi jego temperatury bezwzględnej, i tak kwestya podniesiona już w r. 1818 przez Dulonga i Petita została ostatecznie załatwiona.

Pozostawało jeszcze do zbadania, w jakiej proporcyi promienie o różnych długościach fali składają się na wydanie owego promieniowania całkowitego, innemi słowami, jaki jest kształt funkcyi, określającej rozkład promieniowania, przy każdej danej temperaturze. Także tę kwestyę, dzięki głębokim badaniom teoretycznym Wiena i Plancka z jednej strony, a stwierdzającym je pracom doświadczalnym Paschena, Lummera i Pringsheima z drugiej strony, można obecnie uważać za zupełnie wyjaśnioną; wynik streszcza się we wzorze Plancka[2], według którego natężenie promieni o długości λ, we widmie pochodzącem od ciała czarnego

[1]) Ciśnienie wykonane na 1 m² przez promienie słońca prostopadle wpadające równa się ciężarowi $\frac{1}{2}$ *mg*. Sprawozdania z prac doświadczalnych i teoretycznych nad tym przedmiotem w Jahrb. d. Radioactiv. u. El. II. (1905) p. 267—313.

[2]) Czytelnikom, których wywody matematyczne nie odstraszają, gorąco polecamy: Planck, Vorles. ü. Wärmestrahlg., Barth (1906) 222 str. Mk. 7·80.

temperatury T, określone jest formułką, zawierającą dwa spółczynniki stałe C, α:

$$\sigma(\lambda, T) = \frac{C}{\lambda^5\left(e^{\frac{\alpha}{\lambda T}} - 1\right)}$$

Na mocy prawa Kirchhoffa możnaby zatem przewidzieć zjawiska emisyi dla jakichbądź substancyi, o ile znaneby były ich prawa absorpcyi — i te stanowią ów drugi dział problemów, gdzie wprowadzenie pojęć elektronowych okazuje się koniecznem. Według zasad teoryi elektromagnetycznej składają się na absorpcyę głównie dwie przyczyny: pierwszą jest przemiana energii drgań elektrycznych w ciepło Joule'a, jeżeli promienie padają na ciała dobrze przewodzące, jak n. p. metale [posiadające elektrony „swobodne"], co przyczynia się u nich do wybitnej ich zdolności refleksyjnej i nieprzeźroczystości. Znaną rzeczą było już dawniej, że najlepszy przewodnik, srebro, służy do wyrobu najlepszych zwierciadeł. Wzór teoretyczny dla związku tych właściwości z przewodnictwem, który pochodzi jeszcze od Maxwella, został stwierdzony przez doświadczenia Rubensa i Hagena z taką dokładnością, że możnaby odwrotnie nawet używać takiej metody optycznej do oznaczenia przewodnictwa elektrycznego.

Zgodność ta stosuje się jednak tylko do promieni pozaczerwonych, gdyż u właściwych promieni świetlnych drugi z wyżej wspomnianych czynników, powodujących absorpcyę, wywołuje pewne komplikacye. Czynnik ten, który w niemetalach wogóle dominującą odgrywa rolę, polega na tem, że elektrony ciała prześwietlanego, do ruchu drgającego pobudzone, promieniują energię na zewnątrz, podobnie jak struna udziela energię swą powietrzu otaczającemu. To porównanie akustyczne też tłumaczy, na mocy ogólnej zasady resonancyi, czemu (według teoryi szczegółowo rozwiniętej przez Drudego i Plancka) absorpcya właśnie dla takich fal świetlnych najsilniej występuje, jakie odpowiadają częstości własnych swobodnych drgań elektronów owej substancyi. Wzory teoretyczne, zdające sprawę z empirycznie poznanego związku absorpcyi z dyspersyą anormalną, obejmują wzory dla dyspersyi dawniej już wywiedzione przez różnych uczonych (Cauchy, Briot, Helmholtz, Ketteler) jako specyalne przypadki, a zwłaszcza zostały wyraźnie sprawdzone przez pomiary Rubensa i Aschkinassa

nad promieniami cieplnymi o największej dotychczas znanej długości fali (λ=0·06 mm).

Ta droga rozumowania naprowadza nas na pytanie, jaki istnieje związek między naturą chemiczną substancji a drganiami jej elektronów (czyli jej właściwościami absorpcyjnemi i emisyjnemi), to jest na starodawną kwestję analizy spektralnej. Olbrzymi materjał na tem polu od czasów Kirchhoffa nagromadzony znajdował się do niedawna w stanie zupełnie chaotycznym. Nową drogę otworzyły tu dopiero badania Balmera nad widmem wodoru (1885); wykazał on mianowicie, że długości fal czterech znanych jego linij widmowych, ułożone w regularny szereg, objąć się dają prostym wzorem matematycznym, i na podstawie tego wzoru przepowiedział pozycje dalszych linij wodorowych, z których istotnie do dziśdnia nie mniej niż 31 stwierdzono w części pozafiołkowej widma. Rydberg, Kayser i Runge badania te dalej poprowadzili u innych pierwiastków i w ich widmach również wykryli podobne regularności, tak że obecnie rozłożyć potrafimy widma całego szeregu pierwiastków (*H, Li, Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr* i t. d), każde w kilka takich serji, określonych stosunkowo prostymi wzorami matematycznymi.

Zadanie tu dokonane da się porównać z rozwiązaniem kwestji, którą Kepler sobie stawił wobec ruchu planet: drogą czysto empirycznie induktywną odnaleziono prawidłowość w chaosie danym przez obserwację bezpośrednią i ujęto cały ten obszar zjawisk w karby wzorów matematycznych. Pozostaje obecnie problem do rozwiązania, analogiczny do dzieła Newtona, problem: jaki jest układ elektronów wewnątrz atomu promieniującego, i jakie są siły utrzymujące je w tym układzie, innemi słowami, jaka jest struktura tej budowy elektronowej, którą nazywamy atomem.

Nadzwyczajnie ciekawą, a dotychczas jedyną próbę rozwiązania tego fundamentalnego problemu całej fizyki i chemji, tworzy wspomniana (na str. 7) hipoteza J. J. Thomsona o budowie atomów, która istotnie oprócz różnych innych zjawisk także prawidłowości serji widmowych tłumaczy. Przedwczesną byłoby jednak rzeczą obecnie o niej sąd wydawać; dużo przedtem będzie trzeba wykonać odnośnych badań teoretycznych i doświadczalnych, gdyż jeszcze cały szereg rozmaitych zjawisk się wiąże z tym przed-

miotem. Z pomiędzy nich poruszymy na tem miejscu tylko jeszcze wspomniane przedtem (str. 6) zjawisko Zeemanna[1]).

Jeżeli istotnie fale elektryczne, stanowiące to co nazywamy promieniowaniem, powstają wskutek drgań elektronów, w takim razie można oczekiwać, że obecność pola magnetycznego musi wpłynąć na promieniowanie cieplno-świetlne, ponieważ będzie modyfikować ruchy drgające elektronów, tak jak zmienia też ich ruchy postępowe (uginanie magnetyczne promieni katodowych).

Istotnie po rozmaitych nieudałych próbach Zeemann zdołał wykazać taki wpływ, mianowicie że we widmie wydawanem przez płomień sodowy owe dwie linie żółte, które odpowiadają czarnej linii *D* we widmie słonecznem, się rozpadają, każda znowu na dwie linie bardzo bliskie, jeżeli takie pole magnetyczne dokoła płomienia utworzymy, żeby promienie światła wychodziły w kierunku siły magnetycznej; a każda rozpada się na trzy linie, jeżeli siła magnetyczna jest prostopadła do kierunku promieni.

Rodzaj tego rozszczepienia i zjawiska polaryzacji w nim występujące, zupełnie się zgadzają z przewidywaniem teoretycznem, tak dalece że z wielkości rozszczepienia obliczyć można stosunek masy elektronów do ich ładunku elektrycznego, a liczba tak otrzymana okazuje się identyczną z owemi, które otrzymano na podstawie zupełnie odmiennych zjawisk (por. str. 13).

Zgodność ta tworzy jedno z głównych wiązadeł łączących różne dziedziny teorii elektronowej.

Zjawisko to zostało tym sposobem zupełnie wyjaśnione z punktu widzenia tej teorii, ale we widmach innych pierwiastków występują także zmiany innego rodzaju, więcej skomplikowanej natury, gdyż niektóre linie rozpadają się na większą liczbę składowych i t. p., i tu pozostaje jeszcze obszerne pole, zarówno do obserwacji jak i do wytłumaczenia teoretycznego.

Należałoby tu jeszcze poruszyć cały szereg rozmaitych kwestii, jak związek tych zjawisk z teorią magnetyzmu, z magnetycznym skrętem płaszczyzny polaryzacji, odkrytym przez Faradaya, z analogicznem zjawiskiem Kerr'a, występującem przy odbiciu światła od magnesów, z ciekawem zjawiskiem elektromagnetycznem, odkrytem przez Hall'a, ale może już powyższy pobieżny szkic wystarczy do określenia kierunku, w którym obe-

[1]) Patrz n. p. Lorentz-Tołłoczko cyt. str. 29; Drude cyt. str. 19; Cotton Le phénomène de Zeeman, Paris (1900) fr. 2·—.

cnie optyka się rozwija, a z drugiej strony do scharakteryzowania doniosłości, jaką nabyła teorya elektronów, jako spójnia łącząca najrozmaitsze działy fizyki w jedną systematyczną całość i jako przewodniczka w coraz to nowych odkryciach.

III.

W obec rozwoju tych działów nauki, elektryczności i z nią związanej optyki, mniej wybitnymi wydają się postępy dokonane w ostatnich latach na polu mechaniki i termiki.

Mechanika dzisiejsza[1]) polega na tych samych prawach, które Newton jako podstawowe wygłosił i których później Bernoulli, D'Alembert, Euler, Lagrange, Hamilton, Jacobi do rozwiązywania najrozmaitszych problematów używali, nadając im równocześnie formy (znane pod nazwą różnych „zasad" mechaniki), które w danym razie były dogodniejsze lub ogólnością i elegancyą wybitniejsze. Dzisiaj wprawdzie teorya elektronów zdołała prawa te do zjawisk elektromagnetycznych zredukować, a co do zupełnej ich ścisłości wzbudziła poważne wątpliwości, i tak dokonała pewnego rodzaju wewnętrznej rewolucyi w tej dziedzinie, ale mimo to przecież nikomu na myśl nie przyjdzie porzucić tę dawną mechanikę, gdyż uznać ją musimy za najprostszą a we wszystkich zwykłych przypadkach zupełnie wystarczająco dokładną teoryę ruchu ciał.

Nowsi autorowie ograniczają się na wykończeniu szczegółów, na opracowaniu specyalnych zastosowań, zwłaszcza tych, które dla astronomii lub geofizyki mają większe znaczenie (problem trzech ciał, teorya krążka wirującego i t. p.[2]) lub na krytycznych badaniach co do logicznej ścisłości różnych sposobów uzasadnienia mechaniki (Mach, Hertz, Boltzmann[3]).

---

[1]) Zajmujący wykład o rozwoju mechaniki: Duhem, Ewolucya mechaniki, Warszawa (1904) 223 str. rs. 1 kop. 50.

[2]) Gorąco polecamy bardzo zajmujące, przystępnie pisane dziełka: Perry, Drehkreisel, Teubner (1904) 125 stron, Mk. 2·80; Darwin, Ebbe und Flut, Teubner (1902) 344 stron, Mk. 6·80.

[3]) Dziełem o fundamentalnem znaczeniu, a zrozumiałem nawet dla niefachowców jest: Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch kritisch dargestellt, Leipzig (1901) 550 str. Mk. 9·—; dzieła Boltzmanna (Barth, 1904) a zwłaszcza Hertza (Barth, 1894) są obliczone dla specyalistów i dlatego trudniej zrozumiałe.

Także w hydrodynamice usiłowania autorów nowoczesnych nie są skierowane ku szukaniu nowych zasad fizycznych, bo co do teoretycznej podstawy hydrodynamiki nie mamy żadnych wątpliwości. Postęp dokonuje się tutaj drogą mrówczej pracy: przez rozwiązywanie rozmaitych problemów specyalnych, na mocy równań zasadniczych, w miarę jak na to pozwalają stopniowo doskonalące się metody matematyki.

W jeszcze znacznie wyższym stopniu akustyka tworzy całość mniej więcej wykończoną, w której nie ma już miejsca na epokowe odkrycia, a to samo stosuje się po części wogóle do teoryi sprężystości, przynajmniej o ile ona polega na przyjęciu prawa Hooka o proporcyonalności odkształcenia do natężenia. Wprawdzie wiadomo także oddawna, że prawo to jest tylko przybliżenie ważne, a zwłaszcza że zjawiska opóźnienia sprężystości, tarcia wewnętrznego, powodują znaczne komplikacye, słowem że właściwości sprężystych ciał rzeczywistych znacznie się różnią od tych jakie prawo Hook'a im przypisuje, ale badanie tych właściwości postępuje bardzo powoli.

Jest to przedmiot tak pod względem teoretycznym jak i doświadczalnym nadzwyczajnie trudny i zawiły, zwłaszcza że nie można się wcale spodziewać jakichś prostych rezultatów dla zwykłych materyałów stałych, o strukturze nieokreślonej, drobnokrystalicznej, i właściwie trzebaby badania rozpocząć od sprężystości kryształów. Technicy, którzy z temi kwestyami wciąż się stykają, w tak ograniczonym zakresie i przy użyciu tak źle określonych materyałów eksperymentują, że wyniki ich badań zwykle nie posiadają wartości naukowej.

Jaskrawo ilustruje to fakt, że kwestya zdawałoby się zasadniczego znaczenia dla techniki, mianowicie od jakich warunków mechanicznych zależy złamanie ciała odkształconego, dotychczas zadowalającego opracowania nie znalazła[1]). Fizycy zaś z nielicznymi wyjątkami (Voigt) przestali się zajmować temi mozolnemi i niewdzięcznemi badaniami, wobec tego że otworzyły się inne

[1]) Voigt i Januszkiewicz wykonali doświadczenia nad złamaniem kryształów soli kamiennej i kawałów parafiny, z których Voigt wnioskował, że złamanie nie zależy od wielkości napięcia maksymalnego, jak technicy zwykle przyjmują, lecz od różnicy największego i najmniejszego napięcia w danym punkcie. Nie wiadomo jednak jeszcze o ile ten wynik ma znaczenie prawa ogólnego. (Wiedem. Annalen 53 p. 43 (1894), 67. p. 452 (1899).

wdzięczniejsze pola pracy. Tutaj więc pozostają jeszcze wielkie zadania do rozwiązania w przyszłości.

Na tem miejscu wspomnieć należy o pewnym postępie w metodyce mechaniki, t. j. o prawie ogólnem przyjęciu rachunku wektorowego jako środka pomocniczego przy traktowaniu tych działów fizyki, w których występują wielkości kierunkowe (jak: prędkość, siła, przyspieszenie, w przeciwstawieniu do gęstości, energii, temperatury, i t. p.). Rachunek ten, zastępujący niezręczne narzędzie geometryi analitycznej przestrzennej, i ułatwiający znakomicie zrozumienie działań matematycznych zwykle we fizyce stosowanych, wprawdzie nietylko w mechanice okazuje się użytecznym, lecz równie wielkie, albo może jeszcze większe usługi oddaje w teoryi elektryczności, ale mechanika jako umiejętność, od której w normalnym toku nauki rozpoczyna się poznawanie wielkości kierunkowych, najlepiej niewątpliwie nadaje się do wprowadzenia tego rachunku w użycie.

Używa jego n. p. Föppl w swym doskonałym podręczniku: Lehrbuch d. technischen Mechanik[1]), tak samo Föppl i Abraham, Bucherer, Planck, Lorentz i inni w swych dziełach wyżej wspomnianych. Dowodem, jak dalece użycie tego rachunku, zawartego w zarodkach już w dziełach Grassmanna i Hamiltona, a w obecną formę ujętego przez Heaviside'a, w ostatnich latach się rozpowszechniło, jest ilość odpowiednich podręczników, które w ostatnich latach zostały wydane; ale zapotrzebowanie niewątpliwie jeszcze będzie dalej wzrastać, gdyż rachunek ten będzie coraz więcej wypierać dawną geometryę analityczną, a zapewne także z czasem przejdzie do nauki w szkołach średnich[2]).

IV.

Przejdziemy do trzeciego wielkiego działu fizyki, do nauki o cieple. Na tem polu niewątpliwie panuje czynność znacznie

[1]) Teubner, w czterech tomikach: I.) Einführung i. d. Mechanik Mk. 10·—. II.) Graphische Statik Mk. 10.—. III.) Festigkeitslehre Mk. 10·—. IV.) Dynamik Mk. 12·—. Pierwszy i czwarty tom tworzą bardzo przystępnie i zajmująco pisany zarys mechaniki analitycznej, trzeci tom daje zarys teoryi sprężystości, drugi tom zawiera metody graficzne, w technice stosowane.

[2]) Gans, Einführung in d. Vectoranalysis mit Anwendungen auf Physik, Teubner (1905) Mk. 2·80—; Bucherer, Elemente d. Vectoranalysis mit Beispielen aus d. Physik, Teubner (1903) Mk. 2·40 —; Jahnke, Vorlesungen über Vectorenrechnung Teubner (1905) Mk. 5·60 —; Laub „Krótki zarys analizy wektorów" w Wiadomościach matemat. IX. (1905) [Warszawa, rb. 3·— rocznie].

żywsza niż w mechanice, ale także tutaj postęp polega raczej na wykonaniu szczegółów i stopniowem wydoskonaleniu metod eksperymentalnych, niż na pojawieniu się nowych idei otwierających niespodziewane widnokręgi, jak to miało miejsce w elektronice.

Rozszerzył się obręb temperatur dla nas dostępnych i wydoskonalono metody ich mierzenia. Szczęśliwy pomysł Hampsona i Lindego: zużytkowania oziębienia, które według doświadczeń Joule-Kelvina występuje przy stałecznym przepływie powietrza z wyższego ku niższemu ciśnieniu, i nagromadzenia tego efektu zapomocą regeneratora aż do skroplenia powietrza, uprzystępniło w nadzwyczajny sposób owe niskie temperatury[1]).

Wodór w zwykłej temperaturze zachowuje się przeciwnie jak powietrze t. j. ogrzewa się przy tego rodzaju rozprężeniu, ale poniżej t. zw. temperatury inwersyi, która u wodoru wynosi —80°, okazuje podobne właściwości jak powietrze; można go zatem odtąd dalej oziębiać, aż do skroplenia, zapomocą przetłaczania przez przyrząd Hampsona. Olszewski nadał w tym celu owemu przyrządowi bardzo odpowiednią formę, tak że zapomocą tego, stosunkowo niekosztownego aparatu, o skromnych rozmiarach, można w przeciągu kilkunastu minut otrzymać wodór w stanie ciekłym (temperatura —252·5°) a to jest doświadczenie, które jeszcze w roku 1898 przez Dewara z ogromnym nakładem materyalnym dokonane, wielkiego rozgłosu nabyło w świecie naukowym. Wszystkie inne gazy łatwiej dają się skroplić, z wyjątkiem helu[2]), którego Olszewski nie zdołał otrzymać w stanie ciekłym, mimo że doszedł aż do —271°, to jest dwóch stopni powyżej bezwzględnego zera, a Olszewski nawet powątpiewa[3]) czy skro-

---

[1]) Popularna broszurka o skropleniu powietrza: Nowicki u. Mayer, Flüssige Luft, 50 str., M. Ostrau, Papauschek 2 Aufl. (1906) K. 1·60; obszerniejsze jest dziełko: Kausch, Herstellung, Verwendung von flüssig. Luft, Weimar (1905) 224 str. Mk. 4·60; wyczerpujące zestawienie obecnych naszych wiadomości o skropleniu gazów znajduje się w świetnem dziele: Travers-Estreicher, Experimentelle Untersuchungen von Gasen, Vieweg 1905, Mk. 9 —.

[2]) Gaz jednoatomowy, o ciężarze atomowym 4, odkryty w r. 1895 przez Ramsaya w gazach zawartych w niektórych rzadkich minerałach (Cleveit, Samarskit, Bröggerit, Fergusonit), a według nowszych badań zawarty też, choć w nadzwyczaj drobnych ilościach (jednomilionowa część), w powietrzu. Posiada widmo bardzo charakterystyczne, zwłaszcza linię żółtą, która już w r. 1868 przez Lockyera we widmie słonecznem była obserwowana, i tak obecność nowego pierwiastka na słońcu zdradziła.

3) Hel został skroplony przez prof. Kamerlingh-Onnes'a w Leyden w r.

plenie helu kiedykolwiek się uda. Z tej też przyczyny termometry napełnione helem, jako gazem najdoskonalszym, najlepiej się nadają do mierzenia niskich temperatur.

W dziale wysokich temperatur również termometrya znacznych dokonała postępów. Do niedawna różni autorowie podawali temperatury w obrębie 1035⁰ do 1092⁰ jako punkt topliwości złota, co ilustruje niepewność dotychczasowych metod mierzenia takich temperatur. W ostatnich latach zaś oznaczono ten punkt (1063·5⁰), jako też punkty topliwości różnych innych metali, z wielką dokładnością zapomocą mozolnych badań (w Physikalisch. Techn. Reichsanstalt), polegających na użyciu specyalnego rodzaju termometrów gazowych. Obecnie zatem tych punktów wytycznych możemy używać do konstrukcyi podziałki dla termometrów oporowych lub ogniw termoelektrycznych, jakie różne firmy we formie dla praktyki dogodnej wytwarzają, i tak możemy mierzyć bez żadnych trudności temperatury do 1000⁰ z dokładnością ułamka jednego procentu, a z niewiele mniejszą dokładnością temperatury dosięgające punktu topliwości platyny: 1710⁰ (Harker). Poznanie dokładne praw promieniowania otwiera nam nawet drogę do mierzenia temperatur jeszcze bez porównania wyższych.

Wydoskonaliły się tym sposobem znakomicie nasze narzędzia służące do poznawania zjawisk termicznych, ale inną jest kwestya, o ile istotnie w poznawaniu tych zjawisk postąpiliśmy, i o ile poszliśmy naprzód w zrozumieniu praw niemi rządzących. Pod pierwszym względem niewątpliwie postęp jest znaczny. Wzrasta z roku na rok materyał nagromadzony przez eksperymentalistów; własności termodynamiczne gazów i cieczy, pomiary związane ze zmianą stanu skupienia, z prężnością pary, ciepłem właściwem, przewodnictwem cieplnem i t. p. tworzą dla nich niewyczerpane i wdzięczne pole pracy.

Nie można jednak twierdzić, aby również owocnemi się okazały wysiłki teoretyków do zrozumienia tych zjawisk. Tak n. p. nie powiodły się dotychczas rozpaczliwe ich, wciąż ponawiane próby ujęcia olbrzymiego materyału, odnoszącego się do równania charakterystycznego („Zustandsgleichung", równanie łączące objętość z temperaturą i ciśnieniem) we wzór racyonalny. Wiemy aż nadto dobrze, że wzór V. d. Waal'sa jest nieścisły, wiemy że zasada stanów odpowiednich nieco więcej do prawdy jest zbliżona,

potrafimy oczywiście skonstruować wzory empiryczne z większą ilością spółczynników, dość dokładne dla każdej danej substancyi, ale wzoru pod każdym względem lepszego niż V. d. Waal'sa, t. j. dokładnego i racyonalnego, dotychczas nie znaleziono.

Trzeba atoli zaznaczyć stanowczy postęp, w kierunku nietylko doświadczalnym ale też teoretycznym, na polu pokrewnych zjawisk odbywających się w mieszaninach cieczy i także w znajomości stałego stanu skupienia i praw topliwości (prace Tammanna).

Dwie wielkie idee, które zrodziły się na polu nauki o cieple i które służyły nam jako przewodniki w zrozumieniu jej zjawisk, a z czasem nawet całokształt fizyki objęły, mianowicie system termodynamiczny i teorya kinetyczna, nie doznały w ostatnim czasie znaczniejszego przeobrażenia lub wykształcenia. Teorya kinetyczna[1]) ma dalej idące dążenia, bo usiłuje głębiej wniknąć w istotę rzeczy i zdać sprawę nietylko z ogólnych praw rządzących materyą, ale nawet także z liczbowych spółczynników różnych ciał (spółczynniki lepkości, przewodnictwa gazów, stosunek ich ciepła właściwego i t. p.), podczas gdy termodynamika je przyjmuje jako empirycznie dane.

Lecz teorya ta, po nadzwyczajnym rozkwicie w rękach Maxwella, ugrzęzła częściowo w trudnościach matematycznych — mianowicie o ile chodzi o konsekwentne przeprowadzenie różnych hipotez co do działania sił molekularnych, a zwłaszcza o objęcie właściwości gazów zgęszczonych i cieczy — częściowo zaś w nadzwyczaj zawiłych i logicznemi trudnościami najeżonych dociekaniach nad ścisłością podstawowego prawa Maxwell-Boltzmanna o rozdziale energii kinetycznej w systemach mechanicznych.

Był nawet czas, kiedy zdawało się, że pewien odłam uczonych, ubóstwiających metodę termodynamiczną, a tem silniej zwalczających metodę kinetyczną, t. zw. energetycy, z Ostwaldem na czele, zdołają zupełnie wytępić z nauki nawet podstawowe pojęcia teoryi kinetycznej: drobin i atomów, a na ich miejscu zostawić tylko rozmaite rodzaje energii.

Tymczasem teorya kinetyczna na nowo odżyła w dziedzinie elektryczności, gdzie wzbogacona pojęciami elektroniki, taką ży-

---

[1]) Zajmujący, popularnie napisany zarys mechanicznej teoryi światła, ciepła i teoryi elektronów, wraz z wykładem wstępnych wiadomości mechaniki podaje: Lorentz-Tołłoczko: Poglądy i teorye fizyki współczesnej, Warszawa, Wende, (1904) 288 str.

wotność i płodność okazała, i tak dalece swe podstawowe założenia umocniła, że dzisiaj większem uznaniem się cieszy niż kiedykolwiek. Lecz o tych działach teoryi elektryczności już mówiliśmy (str. 9).

W obrębie dawnych problemów[1]) zaś należy zaznaczyć oprócz różnych drobniejszych przyczynków wciąż jeszcze toczącą się dyskusyę nad prawem Maxwell-Boltzmanna (Burbury, Jeans, Rayleigh i inni), a zwłaszcza Jeans'a próbę pogodzenia tego prawa z teoryą promieniowania. Nie zdaje się, żeby Jeans'a badania tę kwestyę już całkowicie wyjaśniały, ale w każdym razie musimy je uznać jako śmiałą próbę rozwiązania problematu dotychczas starannie omijanego.

Obecnie przeważa tendencya pojednawcza między uczonymi obu kierunków (termodynamicznego i kinetycznego): panuje przekonanie, że trudności które nastręcza pogodzenie teoryi kinetycznej z drugą zasadą termodynamiki, mogą być zupełnie usunięte, jeżeli tej zasadzie nie przypisujemy bezwzględnej matematycznej ścisłości, lecz ją pojmujemy, jak w pewnym sensie wszystkie prawa fizyki pojmować należy : jako regułę prawdopodobieństwa, ważną w praktyce z ogromnem przybliżeniem. Jest to jednak raczej logiczne ograniczenie zasad termodynamiki, o znaczeniu więcej teoretycznem niż praktycznem, gdyż żadnej dotychczas nie mamy wątpliwości o prawdziwości tych zasad, w praktycznem znaczeniu tego słowa. Przeciwnie, zasada energii i zasada Carnota należą do najpewniej ustalonych praw fizycznych, któremi cała fizyka obecna na wskróś przesiąknęła.

Jeżeli im w ostatnich czasach jakiś zarzut czyniono, to tylko że płodność ich pozornie się wyczerpała, że — przynajmniej we właściwej fizyce od długiego czasu żadnego ważniejszego odkrycia nie spowodowały.

Tymczasem niespodzianie pojęcie entropii żywotność swą okazało w teoryi promieniowania (badania Wiena, Planka patrz str. 20.) i tak nawet zjawisko pozornie nieodwracalne dało się podciągnąć pod schemat zasady Carnota.

---

[1]) Krótki zarys teoryi kinetycznej gazów i cieczy z uwzględnieniem niektórych nowszych postępów daje: Jäger, Die Fortschritte d. kinetischen Gastheorie, Vieweg (1906) Mk. 3·50. Zob. także Smoluchowski „O nowszych postępach na polu teoryj kinetycznych materyi", Prace mat. fiz. (Warszawa) XII. (1901) str. 112—135.

V.

Najwdzięczniejszem jednak i długo jeszcze niewyczerpanem polem zastosowania tych metod termodynamicznych okazała się chemia. Już w roku 1858 Kirchhoff pierwszy przekroczył granicę zjawisk dawniej nazwą fizycznych objętych, gdy metodę termodynamiki zastosował do roztworów.

To był izolowany fakt, ale od przeszło dwóch dziesiątek lat cały szereg badaczy coraz śmielej, z coraz rosnącym rozmachem zaczął wkraczać w dziedzinę właściwej chemii, przekonawszy się że stany równowagi chemicznej tym samym prawom podlegają co fizyczne stany równowagi termodynamicznej, jakie nam znane są n. p. w zjawiskach stanu skupienia[1]), jednem słowem, że na tem polu nie ma żadnej różnicy między fizyką a chemią. Zjawiska roztworów, dyssocyacyi, aliażów, modyfikacyi allotropicznych, polymorfizmu i w ogóle wszystkie odwracalne reakcye chemiczne ujęte zostały w schemat termodynamiki, a z tych części chemii w ten sposób zdobytych przez fizykę utworzono nowy dział, pod nazwą chemii fizycznej. Z dnia na dzień rośnie obszar, gdzie chaotyczny materyał empiryczny, nagromadzony przez chemię, porządkuje się w racyonalną systematyczną całość; zwłaszcza że w tem za przykładem termodynamiki poszła także elektryczność, rodząc teoryę dyssocyacyi elektrolitycznej, która obecnie dyktuje prawa w całej dziedzinie elektrochemii [2]) i która nowe światło rzuciła na rozległe dziedziny chemii właściwej.

Niepodobna podać tu choćby najpobieżniejszego zarysu postępów w ostatnich kilkunastu latach dokonanych przez całą falangę badaczy tej nowej dziedziny. Muszę się ograniczyć na wskazaniu broszurki Vant'Hoffa [3]), w której autor, jedna z pierwszych powag na tem polu, przedstawia kilka wytycznych zasad tej nauki w przystępnej formie, objaśniając je równocześnie wskazówkami na doniosłe zdobycze jej na polu metalurgii i na klasyczne

[1]) Tak n. p. rozkładanie się wapna przez palenie na tlenek wapna i kwas węglowy jest zupełnie analogiczne do zjawiska parowania cieczy, i ten sam wzór (Clapeyrona), który w tym razie określa wielkość t. zw. utajonego ciepła parowania, może w owym wypadku posłużyć do obliczenia ciepła zużytego na rozkład wapna (ciepło dyssocyacyi).

[2]) Treściwe podręczniki elektrochemii: Lüpke, Berlin, Springer (1899) Le Blanc, Leipzig Leiner (1903) 284 str. Mk 7, —; Arrhenius, Leipzig (1901) 305 str. Mk. 8·75.

[3]) Van't Hoff: Acht Vorträge über physikalische Chemie, Vieweg 1902.

badania soli Stasfurckich. Zresztą literatura podręcznikowa tego działu tak wzrosła obecnie, że trudno uzasadnić jakiś wybór specyalny [1]).

Nieco dłużej jednak wypadnie nam zatrzymać się nad rozkwitem pewnego działu chemii fizycznej, ściśle związanego z fizyką a szczególnie z elektroniką, najmłodszego z wszystkich, bo właśnie dopiero 10 lat istniejącego, który jednak już wydał wyniki o zasadniczem znaczeniu dla całej chemii i fizyki: działu promieniotwórczości [2]).

Początkowo, po odkryciu promieni uranowych przez Bequerela 1896 i pierwszych badaniach Państwa Curie, uważano promieniotwórczość za zupełnie wyjątkową właściwość, ograniczoną do kilku substancyi napotykanych w rudach uranowych. Obecnie wiemy, że oprócz zasadniczych pierwiastków, uranu, radu, toru i aktynu, istnieje jeszcze cały szereg innych substancyi promieniotwórczych, które tak samo jak tamte na nazwę pierwiastków chemicznych zasługują; wiemy obecnie że owe ciała są ogromnie rozpowszechnione w naturze; że nie tylko drobne ilości radu i jego emanacyi w prawie wszystkich źródłach mineralnych (Gastein Karlsbad, Szczawnica itd.) napotykamy, ale ślady jego znajdujemy, niemal wszędzie w ziemi i we wolnej atmosferze ziemskiej [3]). Co prawda, że tu zwykle chodzi o takie małe ilości, które wykazać się nie dają żadnemi chemicznemi ani spektroskopijnemi metodami, tylko jedynie metodą elektryczną. Metoda ta, polegająca na mierzeniu, o ile powietrze — w normalnym stanie idealny izolator — pod ich wpływem nabywa zdolności przewodzenia elektryczności,

[1]) Wymienimy tylko kilka nowszych podręczników· Van't Hoff, Vorlesungen ü. theoret. u. physik. Chemie, Vieweg (1898—1900) 3 vol. Mk. 14 —; B. Roozeboom, Die heterog. Gleichgewichte, Vieweg (1901—1904) 2 vol. Mk. 18. —; Jüptner, Vorlesungen ü. physik. Chemie, Leipzig (1904) Mk. 8.

[2]) Treściwy pogląd na prace podstawowe daje dysertacya doktorska Pni Curie-Skłodowskiej, przetłumaczona na polskie pod tytułem: Badanie ciał radyoaktywnych Warszawa 1904. Nowszy rozwój tej dziedziny przedstawia w bardzo zajmujący sposób: Soddy, Die Radioactivität, Leipzig (1904) Mk. 6·40. Wyczerpującym podręcznikiem jest: Rutherford, Radioactivity, Cambridge (1905) Mk. 12·50. Liczne artykuły o nowszych postępach w: Jahrbuch f. Radioactivit. u. Elektr. cyt. str. 7.

[3]) Co więcej, zdaje się rzeczą udowodnioną, że nawet zwykłe metale i inne ciała w pewnym, nadzwyczaj słabym stopniu posiadają zdolność promieniotwórczą (patrz referat Campbella w Zeitschr. f. Radioact. u. Elektr. II. (1905) p. 434.)

224

tak została wydoskonalona prze użycie nadzwyczaj czułych elektroskopów i elektrometrów, że z łatwością mogłaby wykazać tworzenie się jednego ionu na 1 cm^3 powietrza co sekundę, do czego wystarczyłaby obecność jednej bilionowej części gramu radu na kilkadziesiąt litrów powietrza.

Początkowo upatrywano we właściwościach promieni Becquerela największe podobieństwo do promieni Röntgena, a zwłaszcza w tem że tak samo przenikają blaszki metalowe, że działają na płytę fotograficzną i wzbudzają zdolność przewodnictwa w gazie otaczającym (tj. „ionizują go“). Obecnie zaś wiemy, że promienie te są zjawiskiem złożonem z trzech części, które rozdzielić się dają łatwo dzięki różnicom w zdolności przenikania. Najmniej przenikliwe części, t. zw. promienie α, które już przez nadzwyczaj cienkie (0·01 mm) blaszki aluminiowe lub kartkę papieru są wstrzymane, odpowiadają promieniom anodowym, więc składają się z cząstek dodatnią elektrycznością nabitych. Promienie β, przenikające warstwy glinu grubości 1 mm., są szybkimi promieniami katodowymi (ujemnymi, patrz str. 12.), podczas gdy promienie γ, najwięcej przenikliwe promienie jakie znamy, przechodzące przez warstwy ołowiu kilku centymetrów grubości, są prawdopodobnie istotnymi promieniami Röntgena, bardzo „twardymi“ (patrz str. 18.) Te trzy rodzaje promieni zachowują się też różnie w polu magnetycznem lub elektrycznem; promienie γ nie doznają żadnego odchylenia; podczas gdy promienie α i β z powodu swych ładunków elektrycznych w przeciwnych kierunkach się odchylają.

Najwięcej zagadkową wydała się z początku kwestya, skąd się czerpie energia promieniowania, gdyż się zdawało, według obserwacyi nad uranem, że promieniowanie trwa wciąż bez żadnej zmiany, a więc że mamy tu do czynienia z niewyczerpanem źródłem energii. A jako miara obfitości tego źródła może posłużyć obserwacya, że 1 gr. chlorku radu wydaje na godzinę 100 kaloryi ciepła, wskutek czego substancya ta zawsze jest nieco cieplejsza od otoczenia. Później zauważono jednak, że w promieniowaniu pewnych substancyi świeżo wytworzonych występują z czasem wyraźne zmiany w składzie i natężeniu promieni, a równocześnie odkryto (Rutherford) wytwarzanie się nowego rodzaju substancyi promieniotwórczej, substancyi gazowej, t. zw. emanacyi. Dokładne zbadanie tych zjawisk zniewoliło Rutherforda i Soddy'ego do przy-

puszczenia, że cząstki stanowiące promienie α i β pochodzą z rozpadania się atomów substancyi promieniotwórczej, oraz że energia promieniowania pochodzi z wewnętrznej energii potencyalnej tego układu elektronów, który nazywamy atomem. Ten zapas energii wyczerpuje się zatem przez promieniowanie, i całe zjawisko musi ustać, gdy dojdzie do końca rozkładanie się atomów na pewne trwałe składniki, rozkładanie się, które postępuje w każdej substancyi z inną, ściśle określoną prędkością [1]).

Że zaś bezpośredniemi metodami (ważeniem) nie można spostrzec ubytku substancyi promieniotwórczej, tłumaczy się tem, że przemiany te postępują bardzo powoli; tak obliczono n. p. że w ciągu całego roku tylko jedna stumilionowa część uranu się rozkłada. Podczas tego rozkładu wyrzucane są cząstki α, a pozostaje substancya nazwana Uranium X, krótko żyjąca, która przy dalszym swym rozkładzie wytwarza promienie β. Dalsze stadya przemiany jeszcze nie są dokładnie znane, ale prawdopodobnie ostatecznym ich produktem jest rad. Rozkład radu łatwiej da się obserwować, gdyż pozostałość (po oddzieleniu się cząstki α,) jak wspominaliśmy jest gazem, t. zw. emanacyą radu. W kolejno po sobie następujących produktach rozkładu tej emanacyi [2]) zdołano dotychczas rozpoznać sześć różnych substancyi promieniotwórczych, z pomiędzy których jedna zapewne jest identyczna z polonem, odkrytem przez PP. Curie w rudzie uranowej. Osiadają one na ścianach naczynia zawierającego emanacyę, a promienie (α i β) przez nie wysyłane są tem, co początkowo uważano za promieniotwórczość wzbudzoną (inducirte Radioactivität) przez rad w swem otoczeniu.

Jakkolwiek ta teorya Rutherforda o rozkładzie atomów już olbrzymim materyałem dowodowym została poparta, możnaby jej przecież zarzucić, że dowody te polegają na użyciu jednej tylko metody pośredniej, t. j. owej nowo wypracowanej metody elektrycznej. Wszelkim wątpliwościom jednak koniec położyło odkrycie, udowodnione bezpośrednią obserwacyą widmową, że z „pierwiastka" radu wytwarza się inny „pierwiastek": hel.

---

[1]) Według prawa $n = nc_0^{\,-\lambda t}$. Czas potrzebny do rozkładu połowy wszystkich atomów danej substancyi wynosi n. p. dla radu 1300 lat, dla emanacyi radowej 3·8 dni, dla emanacyi torowej 53 sekund i t. p. Według tej szybkości zanikania radyoaktywności można w danym razie odwrotnie osądzić z jaką substancyą mamy do czynienia.

[2]) Nazwane Radium A, Radium B itd.

Prawdopodobnie właśnie owe cząstki α, wydzielające się z atomów radu i jego emanacyi, występują (po zobojętnieniu swych ładunków elektrycznych) jako atomy helu; na pewno tego jeszcze nie wiemy, ale w każdym razie musimy jako pewnik uznać fakt, który został stwierdzony przez pierwszorzędnych badaczy chemików, (Sir W. Ramsay i Soddy 1903, Curie i Dewar, Himstedt i Meyer, Debierne), mianowicie: że z emanacyi radu lub aktynu, zamkniętego do szczelnie zalutowanego naczynia, w czasie kilku tygodni wytworzył się hel, rozpoznawalny swem widmem charakterystycznem, które już dawno znane było we widmie słońca, zanim odkryto hel ziemski, i które jest pewniejszą cechą niż jakiekolwiek „reagens" chemiczne.

Nasuwa się tu myśl, czy taka zmienność, choć bezporównania powolniejsza, nie jest może ogólną właściwością wszystkich pierwiastków chemicznych, czego dowodziłyby ślady promieniotwórczości, jakie miano wykryć u zwykłych metali, ale nie będziemy dalej snuć tych spekulacyi. Wystarczy przytoczenie owych suchych faktów i wystarczy wypowiedzenie słowa „ewolucya materyi" [1]) ażeby nam dać odczuć ogrom perspektywy otwierającej się tu na całą dziedzinę chemii, na dzieje ziemi, wszechświata, ażeby nas przekonać, że nauka opuściła w ostatnich latach tor rutyną kilkusetletnią utarty i nową drogą ku nieprzewidzianym dziedzinom postępuje.

VI.

Zastanawiając się nad powyżej skreślonym rozwojem fizyki każdy przyznać musi, że twórcy teoryi elektronów wybudowali wspaniały gmach, który łączy w jedną całość wszystko co dotychczasowe teorye posiadały rzeczywiście wartościowego, a obejmuje jeszcze całe dziedziny nowych zjawisk, któreby inaczej były zupełnie niezrozumiałe. Kto się jednak wychował w zakresie pojęć tradycyą utartych, może będzie ubolewać, że zburzono równocześnie tyle z dawnych uświęconych teoryi, do których tak przywykliśmy, i sceptyczne mu się nasuną refleksye o zmienności zapatrywań i o marności naszych spekulacyi naukowych. Chyba takie doświadczenia nie dają nam nadzieji, żebyśmy kiedykolwiek mogli dojść do trwałego światopoglądu! Czyż w obec tego dąże-

[1]) Tytuł wykładu Soddy'ego; po niemiecku: Soddy, „Die Entwicklung der Materie" Leipzig 1904, Mk. 1·60.

nie nauki nie jest gonienie za fatamorganą, której nigdy nie osiągniemy?

Istotnie, przewrót taki, jaki obecnie przeżyliśmy (i jaki w mniejszych rozmiarach już często się powtarzał), musiałby każdy uważać za ubolewania godną rewolucyę, kto zadanie teoryi fizycznych upatruje w wykryciu wewnętrznego mechanizmu natury, w wykryciu prawdziwej istoty tego co nazywamy światem zewnętrznym, i kto uwierzył, że dotychczasowa fizyka wykryła tę istotę zjawisk natury.

Ale także pod tym względem, t. j. co do poglądu naszego na znaczenie samej pracy naukowej, nastąpiła zmiana, zwłaszcza dzięki krytycznym badaniom Kirchhoffa, Macha, Boltzmanna, Poincarego i innych [1]). Obecnie przeważna część uczonych porzuciła owe górnolotne aspiracye. Staliśmy się skromniejsi w ocenianiu doniosłości naszych badań naukowych, nie zapuszczamy się w odgadywanie tajemnic zapewne wogóle nie rozwiązalnych. Pamiętając o zaszczytnem mianie nauk ścisłych, zdajemy sobie zupełnie trzeźwo sprawę z tego co wiemy a czego nie wiemy, i tylko do tego dążymy, aby fizyka podała nam jak najlepszy model świata zewnętrznego — to jest „maszyneryę“ (złożoną z rozmaitych elementów, czy mechanicznych, czy n. p. elektrycznych, i z łączących je „praw fizycznych“), która nie potrzebuje bynajmniej posiadać takiej konstrukcyi jak to, co rzeczywiście jest, ale którąby nam dawała wyniki ile możności takie same jak zewnętrzny świat rzeczywisty, i tym sposobem pozwalała nam przewidywać jego zjawiska. Podobnie, budując maszynę do rachowania nie żądamy, żeby ona miała taką konstrukcyę jak nasza mózgownica, ale tylko ażeby rezultaty przez nią podane się zgadzały z obliczeniem przez nasz mózg wykonanem.

A tem większa będzie wartość danej teoryi fizycznej, czem 1) dokładniej wyniki jej się zgadzają z doświadczeniem i 2) czem większy jest zakres jej działania, tj. czem więcej zjawisk przez fizykę poznanych, albo nawet jeszcze nie odkrytych, ona obejmuje i ostatecznie 3) czem prostszą i zrozumialszą jest ta teorya.

---

[1]) Oprócz dzieła Macha (cyt. str. 24) i rozpraw Boltzmanna (umieszczonych w książce: Boltzmann, Populäre Schriften, Barth, (1905) 440 str. Mk. 9·—) przedewszystkiem polecamy gorąco dwa dziełka Poincaré'go: Wissenschaft u. Hypothese, Teubner (1906), 346 str. Mk. 4·80; D. Wert d. Wissenschaft, Teubner (1906) 252 str. Mk. 3·60.

Odsłonięcie tajemnic wszechświata było ideałem bardzo poetycznym, w obec którego zadanie nauki powyżej określone może się wydawać skromnem, ale w rzeczywistości posiada ono większą wartość, jako cel racyonalny, dający się osiągnąć. Z tego punktu widzenia upadek teoryi emisyjnej światła Newtona i zwycięstwo undulacyjnej teoryi Fresnela, upadek tejże i zwycięstwo teoryi elektromagnetycznej, tak samo jak upadek teoryi elektrycznych Webera i zwycięstwo teoryi Maxwella i t. d. nie przedstawiają się jako kataklizmy, lecz jako etapy w stale postępującej — a obecnie coraz szybciej pospieszającej — ewolucyi nauki. A czem dalej tą drogą doskonalenia i uogólniania teoryi postępujemy, tem lepiej potrafimy naszym umysłem objąć przeszłość i tem dalej i dokładniej umiemy przewidzieć przyszłość, a to są zadania, których umysł nasz pożąda i których praktyka życiowa wymaga.

Kto chce, może zresztą wierzyć w objektywną realność świata wymyślonego przez naukę obecną, może go to nawet pobudzić do śmielszego postępowania drogą nowych odkryć, ale niech się wystrzega zbytniego konserwatyzmu i zbytniego zamiłowania do raz przyjętego kółka myśli, gdyby kiedyś fakty sprzeczne lub jakaś inna lepsza teorya miały się zjawić.

Musimy się ograniczyć na tych kilku uwagach co do kwestyi poruszonych w ostatnim oddziale, gdyż nie należą one, ściśle biorąc, do właściwej fizyki, lecz — sit venia verbo — do filozofii fizyki, t.j. części ogólnej teoryi poznania.

Chciałbym jednak przy końcu, choć pobieżnie poruszyć jeszcze stronę czysto dydaktyczną naszego przedmiotu, a mianowicie chciałbym uwagę zwrócić na kilka dzieł, które charakteryzują postęp w metodach nauczania fizyki w szkołach średnich.

Z jednej strony wymienić tu należy Höfler'a „Physik"[1]), która posłużyć może jako wzór, jak tradycyjne sposoby nauki fizyki w szkołach średnich pogłębić należy w kierunku logiczno-spekulatywnym, ażeby ucznia nakłonić nie do bezmyślnego wchłaniania materyału podanego, lecz do samodzielności w myśleniu indukcyjnem i ścisłości w analyzie logicznej. Tak pojmowana na-

---

[1]) Vieweg (1904) 966 str. Mk. 16 —; równocześnie wydano skrócenie jako podręcznik dla uczniów wyższych gimnaz. itp. pod tytułem: Höfler Naturlehre, Gerold 407 str. K. 5 —, i jeszcze więcej skrócony wyciąg jako: Höfler Repetitorium d. Physik, Vieweg 203 str. Mk. 3,50.

uka istotnie służyć może jako szkoła myślenia, a z pewnością nie utrudnia przedmiotu lecz ułatwia go, umożliwiając jego głębsze zrozumienie i wlewając zapał do samodzielnego rozumowania.

Byłby to jednak jednostronny kierunek postępu metodyki, gdyby go nie połączono z kierunkiem eksperymentalnym, charakteryzowanym przez dzieła jak Schreber-Springmann, Noack, Hahn, Müller [1].

Wzrasta wciąż opozycja przeciwko nauczaniu „książkowemu“ i utrwala się żądanie reformy w tym kierunku, ażeby uczeń się przekonał, że naturalną drogą poznawania świata nie jest jedynie wykład nauczyciela lub papier drukowany, tylko bezpośrednia obserwacja natury. Tego zaś uczeń nigdy nie zrozumie, dopóki sam doświadczeń nie będzie wykonywał, a pokazywanie doświadczeń w klasie jest tylko bardzo niedostatecznym półśrodkiem. Uznając tę konieczność w Anglii i Ameryce oddawna zaprowadzono we wszystkich niemal szkołach pracownie fizyczno-chemiczne dla uczniów, w których przeważna część nauki się odbywa, a także na kontynencie europejskim, zwłaszcza w Niemczech, szybko wzrasta liczba szkół w ten sposób wyposażonych.

Symptomem tego ruchu są dziełka powyższe; kto je do ręki weźmie, zadziwi się jak prostymi przeważnie środkami wykonać można najróżniejsze, bardzo pouczające doświadczenia z wszystkich dziedzin fizyki, a kto choćby w bardzo ograniczonych rozmiarach (n. p. jako nagroda dla lepszych uczniów) takie ćwiczenia zaprowadzi z pewnością wynagrodzonym zostanie powiększoną gorliwością i zamiłowaniem uczniów w przedmiocie.

Uwzględnienie tego kierunku eksperymentalnego w połączeniu z wydoskonaleniem logicznem według Höflera stanowi istotny postęp w metodyce nauczania; co do treści jednak i tutaj występuje nieco wada wspólna większej części podręczników szkolnych: że są zbyt konserwatywne. Kto nie chce się poddać zarzutowi zacofania, musi je koniecznie uzupełniać uwzględnieniem najnowszego rozwoju nauki. W szkicu powyższym oczywiście można

---

[1]) Schreber-Springmann: Experimentirende Physik, Barth (1906), 2. vol. Mk. 13·20; Noack: Aufgaben f. physik. Schülerübungen, Berlin Springer (1905), 170 str., Mk. 3·— Hahn: Physik. Freihandversuche, Berlin Salle (1905), Mk. 3·75; Hahn, Wie sind physik. Schülerübungen praktisch zu gestalten? 67 str. Berlin, Springer (1903); Mk. 2. —: F. Müller: Technik d. physik. Unterrichts, Berlin Salle (1906). 370 str., Mk. 6.

227

było tylko zaznaczyć wytyczne kierunki tego rozwoju, ale zwracam specyalnie uwagę czytelników na materyał bibliograficzny poruszony w dopiskach, oraz pozwolę sobie wskazać na Riecke's Lehrb. d. Physik [1]) jako przykład podręcznika skromnych rozmiarów, który także na nowsze postępy naukowe kładzie należyty nacisk, oraz na dwa wspaniałe, obecnie wychodzące dzieła zbiorowe, które objąć mają całokształt naszych wiadomości w dziedzinie fizyki i już w obecnej formie nieocenione przysługi oddają przy pracy na tem polu, a mianowicie w kierunku więcej doświadczalnym: Winkelmann Handbuch d. Physik (w sześciu tomach, Barth) a w kierunku teoretycznym: tom IV. (mechanika) i tom V. (fizyka) dzieła Encyklopädie d. mathem. Wissenschaften, wydawanego przez Teubnera w Lipsku.

---

[1]) Leipzig, Veit (1906), 2 vol Mk. 20·—.

